



Naturalis

Repositorio Institucional
<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Sedimentología y estratigrafía de los depósitos ediacaranos - paleozoicos, suprayacentes a las calizas del Precámbrico del sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires

Arrouy, María Julia

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Poiré, Daniel G.

Co-dirección: Gómez Peral, Lucía E

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
2015

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20150320001394>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

*SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LOS
DEPÓSITOS EDIACARANOS- PALEOZOICOS, SUPRAYACENTES
A LAS CALIZAS DEL PRECÁMBICO DEL SISTEMA DE TANDILIA,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.*



TESISTA: MARÍA JULIA ARROUY

DIRECTORES: DANIEL G. POIRÉ

LUCÍA E. GÓMEZ PERAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA - FCNYM

2015

SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LOS DEPÓSITOS
EDIACARANOS – PALEOZOICOS, SUPRAYACENTES A LAS CALIZAS DEL
PRECAMBRICO DEL SISTEMA DE TANDILIA,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

AUTOR

MARÍA JULIA ARROUY

DIRECTORES

DANIEL G. POIRÉ

LUCIA E. GÓMEZ PERAL

AÑO 2015

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Resumen

Los numerosos estudios de detalle desarrollados en la actualidad en el área de trabajo, favorecidos por los avances tecnológicos e industriales, han contribuido al conocimiento de diferentes zonas que eran desconocidas anteriormente por las limitaciones propias de la época.

Considerando que el área de estudio es de gran interés para la industria minera debido a la presencia de altos volúmenes de piedra caliza, se han llevado a cabo innumerables trabajos de campo, campañas de perforación, relevamientos geofísicos y aperturas de canteras, las cuales han motivado y reactivado, por distintos descubrimientos tanto en superficie como en subsuelo, continuar avanzando en el conocimiento de la geología del Sistema de Tandilia.

El presente estudio se refiere a un sector del cordón septentrional serrano de la provincia de Buenos Aires: las Sierras Bayas – Olavarría, en el cual por medio de perforaciones verticales se dan a conocer los primeros resultados sobre el estudio de un paquete sedimentario de más de 150 metros de espesor en el que predominan las granulometrías de tamaño limo a arcilla, de coloraciones que gradan de verde oliva a gris y de gris a negro, y que se dispone por encima de las facies de margas y por debajo de las facies heterolíticas que caracterizan a la Formación Cerro Negro.

En la región de Sierras Bayas, diversos autores, entre los que se destacan los trabajos de Iñiguez y Zalba, 1974a; Iñiguez *et al.*, 1989; Barrio *et al.*, 1985, han registrado un conjunto de sedimentitas que fueron descriptas e incluidas en la Formación Cerro Negro y que apoyan en discordancia sobre las calizas de la Formación Loma Negra. Este conjunto de litofacies incluye tanto rocas silicoclásticas como calcáreas.

De A partir los estudios previos y en particular con los resultados obtenidos en este trabajo de tesis, se propone actualizar el contexto estratigráfico acorde con los nuevos datos obtenidos de subsuelo. Asimismo, este trabajo permite dar a conocer una reconstrucción paleogeográfica que contribuya a la ya conocida para el borde sudoccidental del supercontinente de Gondwana en tiempos Ediacarano-Paleozoicos. Para ello, se llevaron a cabo tareas de campo, simultáneamente se realizaron tareas de gabinete donde se describieron los testigos de perforación. En esta instancia se confeccionaron catorce perfiles sedimentarios a escala 1:50, se tomaron las muestras correspondientes para ser analizadas por petrografía, microscopía electrónica, difracción de rayos X, estudios geoquímicos (TOC, ICP-MS, EDAX) y palinológicos.

Las muestras fueron seleccionadas y se separaron en grupos, luego se prepararon según los requerimientos necesarios para cada tipo de análisis, cada uno de estos fue realizado en laboratorios específicos para cada disciplina.

El análisis de las facies sedimentarias permitió identificar siete facies que fueron agrupadas en tres asociaciones de facies, las cuales se interpretan como desarrolladas en un ambiente marino poco profundo o planicie de marea.

Asociación de facies I: Se ubica sobre el relieve cárstico y está integrada por las facies PArm – y Mm, esta asociación inicialmente mixta muestra un enriquecimiento hacia el techo en material silicoclástico. La abundancia de calcita depende del mayor o menor aporte clástico, por lo tanto la depositación de las margas y pelitas sugiere modificaciones en el aporte detrítico vinculado con breves fluctuaciones del nivel del mar. Esta asociación se interpreta como depositada en una planicie de marea bajo condiciones submareales

Asociación de facies II: Integrada por las facies *Lng* – *PLm* – *Ho* – *HI*. En parte se asemeja a la Asociación de facies I pero con una marcada diferencia en el tamaño de grano, haciéndose mucho más fino y sin material carbonatado. Se atribuye a la misma a una sedimentación normal por debajo del nivel de base de olas y en profundidades superiores a la base de olas de tormentas, y en la que a su vez alternan frecuentes pulsos tractivos de poco espesor. Esta asociación, identificada en subsuelo por medio de testigos corona, se interpreta como depositada bajo condiciones submareales.

Asociación de facies III: Integrada por las facies *Am* - *Alx* – *PArm* - *Hf*, ésta asociación se caracteriza por una alta participación de eventos tractivos alternando con algunas pausas de fango, las cuales se habrían formado en profundidades cercanas a la base de olas de buen tiempo pero con variabilidad en el régimen del oleaje. La laminación entrecruzada se atribuye al producto de la migración de óndulas de corriente. Las arenas finas a medianas masivas podrían vincularse a episodios tractivos posiblemente relacionados a desbordes fluviales. Esta asociación es interpretada como depositada bajo condiciones submareales a intermareales.

Los análisis de difracción de rayos X, permitieron caracterizar mineralógicamente a las unidades litológicas presentes. Se analizaron, por este método un total de 181 muestras, las cuales se componen principalmente de cuarzo, plagioclasas y arcilla para las unidades silicoclásticas y con contenidos variables de calcita en las unidades basales margosas. En la fracción fina se destaca la presencia de illita como argilomineral principal y de clorita como secundario. En menores proporciones se encuentran esmectita, interestratificados de illita y esmectita (IS) e interestratificados de clorita y esmectita (CS)

El análisis de la fracción fina muestra dos arreglos principales, la sección inferior de las unidades silicoclásticas está compuesta por illita y clorita en una proporción de 60:40 y para la sección superior la proporción illita – clorita cambia a 85:15.

A partir de la observación de los índices de cristalinidad de la Illita, índice de Esquelvin y el índice de cristalinidad de la clorita, se pudieron ubicar a las arcillitas rojas entre los campos de la diagénesis y el anquimetamorfismo. Por otro lado ocurre algo diferente en el caso de las lutitas negras/grises que señalan una distribución más uniforme, ya que el 100% de las muestras se ubican en el campo del anquizona; sugiriendo que las lutitas negras tienen mayor proporción de arcillas detríticas en comparación con las arcillitas rojas que muestran presencia de arcillas de origen compartido.

Se analizaron por MEB tanto las arcillas rojas como las lutitas negras, observando que las illitas presentes en las lutitas negras presentan bordes irregulares e impurezas en su composición, además de un mayor contenido de K en su estructura sugiriendo un origen detrítico, en el caso de las illitas de las arcillas rojas donde se pueden observar además de algunos granos detríticos otros con bordes definidos, típicos de minerales autigénicos acompañados de interestratificados de tipo IS.

Se realizó el análisis petrográfico de 58 cortes delgados de las facies heterolíticas, de las facies de areniscas finas a medianas, de las facies limosas, de las facies margosas y por último a las lutitas negras/grises y arcillitas rojas. Los componentes principales de las areniscas finas a medias son el cuarzo monocristalino, plagioclasa, arcillas y micas; siendo los componentes secundarios clastos líticos y minerales opacos.

Las pelitas y margas, poseen abundante micrita intersticial, argilominerales y material no distinguible bajo microscopio petrográfico, a excepción de los cristaloclastos de cuarzo de tamaño limo.

Las modas detríticas determinadas sobre las arenas finas a medias, indican que las mismas corresponden a subfelarenitas y areniscas subfeldespáticas, con una procedencia que las ubica en el campo de interior cratónico.

Los análisis geoquímicos, se llevaron a cabo en un total de 29 muestras, en las que se determinaron elementos mayoritarios, trazas y tierras raras. Algunas de sus relaciones fueron expresadas en diferentes gráficos los que han permitido postular que una de las posibles áreas de procedencia tendría carácter netamente de arco volcánico para las lutitas negras y para las arcillitas rojas (estas últimas con una distribución más dispersa). Por otro lado, los resultados de análisis de tierras raras, muestran que las rocas tienen un patrón similar al de las pelitas patrones (PPAS). Las anomalías de Ce son negativas y se ha demostrado que las rocas no presentan modificaciones por procesos postdeposicionales, que afectaran al patrón de tierras raras.

Se cuantificó el carbono orgánico total en las lutitas negras/grises obteniendo valores muy bajos que no llegan a superar el 0,27 %.

Se prepararon maceraciones palinológicas convencionales para la obtención de acritarcos, sobre un total de 19 muestras, 14 de las facies de lutitas negras/grises (Lng), 4 de las facies de pelitas rojas (PArm) y 1 de la facies margosa (Mm).

El conjunto de acritarcos recuperado se caracterizan por la baja diversidad de especímenes, por el dominio casi exclusivo de *Leiosphaeridia minutissima* y de *Leiosphaeridia*.

Una característica particular es que todos los ejemplares obtenidos en la facies de lutitas negras/grises, independientemente del espécimen que se trate, se encuentran “quemados” o con una alta carbonización producto de haber estado expuesto a temperaturas mayores a los 150°C.

Teniendo en cuenta que los 150 metros de sedimentitas que constituyen a la asociación de facies II presentan marcadas evidencias que las distingue de las asociaciones de facies que se ubican por encima y por debajo de esta, se propone darle a éste conjunto el carácter de Formación cumpliendo con lo establecido en el que art. 28 por el código Argentino de estratigrafía. Con esta nueva unidad litoestratigráfica, es necesario redefinir a la asociación de facies I (Mm – Parm), que deja de pertenecer a la parte basal de la Formación Cerro Negro para ser una formación independiente.

En conclusión, este trabajo de tesis propone un modelo tectono-sedimentario de subsuelo y un nuevo cuadro estratigráfico para los depósitos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas en la región NO del Sistema de Tandilia. De esta manera, y a partir de los resultados arribados en el presente estudio, se designa a la asociación de facies III como **Formación Avellaneda**, a la asociación de facies II como **Formación Alicia** y la asociación de facies I es re definida como **Formación Cerro Negro**. Estas tres formaciones están asociadas a una misma cuenca y se las agrupa en una unidad litoestratigráfica de mayor jerarquía para la cual se propone la denominación de **Grupo la Providencia**, diferenciándose litológicamente, mineralógicamente y geoquímicamente del Grupo Sierras Bayas.

Finalmente, se incluyen una serie de aplicaciones industriales con el objetivo de dar a conocer las posibles propiedades puzolánicas en las facies de arcilitas rojas y de lutitas negras/grises y potencialmente indicar su futura utilización en la industria cementera. Con tal propósito se llevaron a cabo diferentes ensayos físico-químicos (fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, ensayos termo diferenciales como DTA y TGA) tanto en las arcilitas rojas de la Formación Cerro Negro como en las lutitas negras/gris de la Formación Alicia.

Abstract

Several studies carried out in the work area of the present PhD thesis study, favored by the technological and industrial development, have contributed to the knowledge of the geology in different zones that were unknown due to the restrictions found in the past.

Regarding the important development of the mining industry regarding the huge volume of limestones, many field works were developed, drill cores, geophysical studies of the subsurface, and opening of new quarries, all of which have motivated and reactivated the continued advance in the knowledge of the geology from Tandilia System.

The present study is focused in a particular part of the northern hills in the Buenos Aires province: The Sierras Bayas – Olavarría, where, by means of drill exploration and core analysis allow to give light to show the first analysis and results in a new sedimentary unit. This new lithology here reported is represented by more than 150 meters thick of fine grained sedimentary rocks varying from silt to clay textures, with colors varying from olive green, grey to black, which are overlaying the typical marly facies and below the heterolithic successions of the Cerro Negro Formation.

In the Sierras Bayas area, many authors as Iñiguez y Zalba, 1974a; Iñiguez et al., 1989; Barrio et al., 1985, between others, have registered a sedimentary succession assigned to the Cerro Negro Formation which overlies discordantly over the limestones of Loma Negra Formation. This succession is mainly composed by siliciclastic rocks (reddish psamites and pelites) and lime mudstones.

From previous and the present results obtained in this case of study, is possible to actualize the stratigraphic context regarding new data provided by subsurface studies, as well as the paleoenvironmental and paleoecological reconstruction in the context of the SW Gondwana margin during Ediacaran- Precambrian times. Therefore, field work in the study area, sampling in the quarries walls, added to the cabinet work, as was said above, the huge flow of new information provided by more than two thousand meters of drill cores.

Later on fourteen sedimentary sections were drawn in 1:50 scale of detail, with the concomitant sampling for different analysis in laboratory: petrographic, scanning electron microscopy (SEM) X-ray diffraction, X-Ray fluorescence, and other geochemical analysis (TOC, ICP-MS, EDAX), palynological studies.

Samples were divided in groups regarding the type of analysis to make over each one, which were performed in different specialized laboratories.

The sedimentary facies analysis, allow to identify seven facies which were grouped into three facies associations then interpreted as deposited in a shallow marine or platform environment.

The facies association I: It is just over the regional karstic surface of the top of Sierras Bayas Group and marks the resumption of the carbonate sedimentation (over Loma Negra Formation) which is characterized by enrichment in siliciclastic material. The marly abundance depends on the terrigenous participation, then the deposition of marls and mudstones are in relation with the clastic support and also with fluctuations in sea level. This association is interpreted as deposited under subtidal conditions similar to the II.

The facies association II: constituted by the facies Lng-PLm-Ho-HI. It is similar to I but with a marked difference in the grain size, which are finer. This is considered as product of a normal sedimentation below the base of wavy trend, in which thin tractive pulses are interbedded, considered as deposited in an subtidal environment. This association was recognized in subsurface drill core studies.

The facies association III: is composed by the facies Am – Alx – Parm – Hf, characterized by a high participation of tractive events with some mud pauses with mud decantation in which the depth should be over the base of the storm wavy. The planar cross lamination is the most conspicuous structure which was assumed as product of current ripples. The fine to middle grained sandstones are associated with tractive deposits which can be associated with fluvial overflow. This association is interpreted as subtidal to intertidal environment

By means of X-Ray diffraction (XRD) analysis was possible to characterize the mineralogical composition of the lithological units. This technique was applied over 181 samples, which show widely a composed by quartz, feldspars, clay-minerals for the siliciclastic facies, and with variable contents of calcite in the marly basal section. In the fine fraction the main components are constituted by illite, chlorite, with minor proportion of interstratified of illite-smectite (I/S) and interstratified of chlorite-smectite (C/S).

In the fine fraction XRD analysis was possible to recognize two main arrangements, in the basal section the siliciclastic units are composed by illite and chlorite in a 60:40 proportion, while the upper section this proportion changes to 85:15.

The crystallinity index of illite added to the Esquevin index and the chlorite crystallinity allow to plot the red claystones in the diagenesis and anchimetamorphism, while black-grey shales plot in the anchi- and metamorphism.

Petrographic analyses were performed over 58 thin sections from the heterolithic facies, sandstone facies, siltstones facies and in less proportion in samples of shales, claystones and marls. The main mineralogical components recognized under microscope are monocrystalline quartz, feldspars (mainly plagioclases), clay-minerals, micas, with secondary altered lithics and opaque minerals.

Mudstones and marls show varied proportions of micrite, and no differentiated material, with some silty quartz grains.

Detrital modes determined over fine to middle sandstones allow to indicate them as subfeldarenites with a provenance from a cratonic area.

Geochemical analysis from a total of 29 samples show the composition in major, trace and rare earth elements, which allow to indicate different ratios and graphical interpretation combined the results. From these analysis was possible to determine the provenance áreas in which was indicated a clear volcanic provenance for the black shales and red claystones. On the other hand, REE results show trends that are similar to the Post Archean Australian Shale PAAS. Cerium anomalies are negative, and they were tested by many proxies which allow to indicate their primary signature, and absence of diagenetic modification.

Total carbon analysis were carried out on all the black-grey shales in which the values were always lower than 0,3 %.

Palynological macerations were prepared for the separation of achritarchs, over 19 samples, 14 from black shales, 4 from the red claystones, and 1 from the marl. Achitarchs concentrated were characterized by their low diversity of specimens domain almost exclusively by *Leiosphaeridia minutissima* and *Leiosphaeridia*. One particular characteristic was that all the specimens show a high degree of "burn" or as carbonized by high temperature exposure during burial (more than 150°C).

Between the most important analysis performed, and in summarized way, were included físico-chemical analysis (X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Termo differential analysis DTA and TGA) over red claystones and black shales. In the black shales was observed that they show well conditions to be utilized as puzzolanic materials.

Given that the 150 meters facies association II had never been mentioned before and which presents marked evidence of being different from the facies associations that are above and below this, it is proposed to give to this interval the character of Formation complying with the provisions of that art. 28 by the Argentine Stratigraphic Code. Therefore, this new stratigraphic unit, make necessary to re define facies III (Mm - Parm), which no longer belongs to the basal part of the Cerro Negro Formation, to become an independent Formation.

For this reason, a subsurface Tecto-sedimentary model is proposed and also the stratigraphic chart modified including the units that overlay the Sierras Bayas Group in the NW region of the Tandilia System. In this new stratigraphic arrangement the Facies Association III is considered as **Avellaneda Formation**, the Facies Association II as **Alicia Formation** while the Facies Association I is redefined as **Cerro Negro Formation**.

Moreover, these three Formations are now assigned and grouped in a new lithostratigraphic unit of high hierarchy named here as **La Providencia Group**.

Finally, in this study was included a chapter with the Industrial applications considered over this material, with the objective to certificate them for their inclusion in the cement industry. In this purpose, different físico-chemical analysis were carried out (X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Thermal Differential Analysis: TDA, TGA) over red and gray shales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis se pudo lograr gracias a al apoyo de muchas personas, algunas de ellas sabiendo de lo que se trataba y otras no tanto, pero siempre aportando lo mejor de cada uno.

Quiero darle las gracias a:

A mi Familia; mis abuelas, papas, hermanos, sobrina, tíos y primos.

A mis amigos; Fernanda, Ariel, Tota, Maga, Marcela, Santiago, Verónica, Lorena, el Mendo, Rulo, Paula, Guillermina, Soledad, Tama, Mavi, Agustina, Laura, Abril, Mariana y Nicolás y especialmente a Puchi por regalarme su fotografía para la portada.

A todo el centro de Investigaciones Geológicas, lugar en el que se aprende y se comparte con grandes compañeros y excelentes profesionales.

A Abril, Nicolás, Mariana, Agustín, Sebastián, Augusto, Alejandro, Mariano, David, por los momentos compartidos transformados en charlas, consulta, consejos, siempre con cariño y dedicación.

A Rita, Mercedes, Amelia, Oscar, Mabel y Neli por malcriarme con tanto afecto.

A Pablo García, Cecilia Genazzini y Daniel Mártire del laboratorio de DRX y cortes delgados que han estado siempre dispuestos a colaborar.

A Alfredo Benialgo por su ayuda con el manejo de las imágenes satelitales y su Georeferenciación.

A los todos los compañeros de las cátedras de Sedimentología y Rocas Sedimentarias de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

Estoy muy agradecida a la empresa Cementos Avellaneda S.A y a sus directivos que me ha permitido no solo disponer del materia de estudio, sino de todo aquello que sea necesario para llevar adelante esta investigación.

A todas las personas vinculadas a Cementos Avellaneda que han hecho que este trabajo de investigación haya sido posible y sobre todas las cosas placentero y divertido: Pipi, Bettiana, María, Carlitos, Pablo, Stella, Juan, Víctor, Cristian, Guillermo, Ester y Lasarte, El Ruso, Miguel.

A Fabricio Buchanan quien siempre estuvo dispuesto, trabajando a la par, tanto en el campo como en el laboratorio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a toda la gente que trabajó en las empresas Patagonia Drill y en Fundaciones especiales S.A, llevando a cabo las campañas de perforación en los diferentes yacimientos de Cementos Avellaneda S.A, teniéndome paciencia y enseñándome “los gajes del oficio”.

Al equipo Paleontológico conformado por dos amigos Gaby y Martin. Donde las charlas y las risas siempre estuvieron presentes.

A los Dres. Claudia Rubistein y Claudio Gaucher por el gran aporte otorgado en el área de la palinología, invitándome a sus laboratorios, compartiendo y proporcionándome sus conocimientos en esta disciplina que ha enriquecido sustancialmente este trabajo de investigación.

Al Dr. Sebastián Richiano, por su compañerismo y amistad dedicándome parte de su tiempo ayudándome con su experiencia y conocimiento.

A mi Directora la Dra. Lucía Gómez Peral (“Luchi”) por hacer de esta tesis propia, dándome su tiempo y conocimiento, siempre con entusiasmo y dedicación, aguantando mi frenesí y arrebato, con paciencia y mucho cariño.

De cualquier modo, no le podría estar agradeciendo a ninguno de los antes mencionados, sino fuera por la oportunidad que me han dado dos personas que admiro, respeto y quiero mucho.

Cada uno con sus particularidades, muy diversas entre sí, siempre me han ofrecido su mejor lado profesional y sobre todo humano. Ha sido toda una experiencia crecer al lado de Dr. Daniel G. Poiré y del Agrm. José María Canalicchio, espero profundamente poder reflejar en mi carrera profesional y en la vida, aunque sea una parte, de todo lo que he aprendido de ustedes y en ese camino diario expresarles mi más profundo agradecimiento.

Al CONICET que financió este trabajo de tesis en conjunto con la empresa Cementos Avellaneda S.A durante la Becas Tipo I y en forma completa a partir de la Becas Tipo II y a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, por respaldar este trabajo de tesis de doctorado en Ciencias Naturales.

Resumen

Abstract

Agradecimientos

Índice	Página
Capítulo I	
I.1. Reseña Histórica y Marco Geológico	1
I.1.1 Reseña Histórica	1
I.1.2 Marco Geológico	3
I.1.2.1 Sedimentitas suprayacentes al Grupo Sierras Bayas (SGB)	10
I.2. Zona de estudio	13
I.3 Objetivos	14
Capítulo II	
II.1. Metodología utilizada	15
II.1.1. Recopilación, lectura y análisis bibliográfico	15
II.1.2. Tareas de Campo	15
II.1.3. Tareas de Gabinete y de laboratorio	18
II.1.3.1. Representación gráfica de Perfiles	19
II.1.3.2. Identificación y análisis de facies sedimentarias	19
II.1.3.3. Difracción de Rayos X	19
II.1.3.3.1 Análisis cualitativo	20

II.1.3.3.2 Análisis semicuantitativo	21
II.1.3.3.3 Índices de cristalinidad (illita y Clorita) e Índice de Esquelvin	21
II.1.3.4. Petrografía	22
II.1.3.5. Análisis geoquímicos	22
II.1.3.5.1. Análisis ICP de masas	22
II.1.3.5.3. Análisis de materia orgánica (TOC)	23
II.1.3.6. Análisis palinológico	23
 Capítulo III	
III.1. Descripción de los perfiles relevados	24
III.1.1. Introducción	24
III.1.2. Secciones en frentes de canteras	24
III.1.2.1 Perfiles sedimentológicos - Cantera Cerro Negro	26
III.1.2.2 Perfiles sedimentológicos - Cantera El Polvorín	26
III.1.2.3 Perfiles sedimentológicos - Cantera C.A.S.A	26
III.1.3. Secciones relevadas en testigos verticales de perforación	30
III.1.3.1 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento Alicia	31
III.1.3.1.a) Perfil – pozo TA 22	33
III.1.3.1.b) Perfil – pozo TA 23	35
III.1.3.1.c) Perfil – pozo TA 27	35

III.1.3.1.d) Perfil – pozo TCA 2	38
III.1.3.1.e) Perfil – pozo TCA 3	38
III.1.3.1.f) Perfil – pozo TCA 5	41
III.1.3.1.f) Perfil – pozo TCA 10	41
III.1.3.2 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento La cabañita	44
III.1.3.2.a) Perfil – pozo TDH 21	46
III.1.3.2.b) Perfil – pozo TSE 34	46
III.1.3.2.c) Perfil – pozo TDH 11	49
III.1.3.2.d) Perfil – pozo TDH 26	49
III.2.Análisis de facies	52
III.2.1.Facies margosas y facies de margas laminadas (Mm-MI)	52
III.2.2.Facies pelitas	53
III.2.2.1.Facies de pelitas - Arcilitas rojas masivas (PArm)	53
III.2.2.2.Facies de lutitas negras/grises (Lng)	54
III.2.2.3.Facies de pelitas - limolitas grises a blanquecinas masivas (PLm)	55
III.2.3.Facies arenosas	55
III.2.3.1.Facies de Areniscas medianas masivas (Am)	55
III.2.3.2.Facies de Arenas finas a medias con óndulas y laminación entrecruzada (Alx)	56
III.2.4 Facies Heterolítica	57

III.2.4.1.Facies Heterolítica con estratificación mixta ondulosa (Ho)	57
III.2.4.2.Facies Heterolítica con estratificación mixta lenticular (Hl)	57
III.2.4.3.Facies Heterolítica con estratificación mixta flaser (Hf)	60
III.3 Interpretación de Facies	60
III.3.1 Asociaciones de facies e interpretación de los procesos sedimentarios	61
III.4 Conclusiones preliminares	65
Capítulo IV	
IV.1 Generalidades	68
IV.2 Elección de las muestras	68
IV.3 Cantera El Polvorín	69
IV.3.1 Análisis de roca total y fracción fina	69
IV.4 Yacimiento Alicia	74
IV.4.1 Análisis de roca total y fracción fina	74
<i>Perfil TA 22</i>	74
<i>Perfil TA 23</i>	78
<i>Perfil TA 27</i>	82
<i>Perfil TCA 2</i>	86
<i>Perfil TCA 3</i>	90
IV.5 Yacimiento la Cabañita	93

IV.5.1 Análisis de roca total y fracción fina	93
<i>Perfil TSE 34</i>	93
IV.6. Geotermómetros (índices de cristalinidad)	97
IV.6.1 Índices de cristalinidad de illita e índice de Esquevin	98
IV.6.2 Índice de cristalinidad de la clorita (001)	100
IV.7. Microscopía electrónica de barrido (MEB)	102
<i>Perfil TA 22</i>	102
<i>Perfil TSE 34</i>	106
IV.8 Origen de las arcillas estudiadas en este trabajo	107
IV.9 Consideraciones preliminares	108
 Capítulo V	
V. Petrografía	111
V.1 Generalidades	111
V.2 Petrografía margas	111
V.3 Petrografía de Arcilitas – Lutitas – Limos	113
V.4 Petrografía de Areniscas finas a medias	116
V.4.1 Componentes detríticos	118
V.4.1.1. Cuarzo monocristalino	119
V.4.1.2. Feldespatos	120

V.4.1.3.Argilominerales	121
V.4.1.4.Líticos	123
V.4.1.4.Opacos	123
V.4.2 Cementos	124
V.4.4 Microestructuras	126
V.4.5 Brechas calcáreas, fangolitas y bochones de ftanita	127
V.5 Clasificación de Areniscas	129
V.6 Conclusiones preliminares	131
 Capítulo VI	
VI. Análisis Geoquímico	132
VI.1 Generalidades	132
VI.2 Selección de muestras y metodología	134
VI.3 Elementos mayoritarios y minoritarios	135
VI.4 Elementos traza y tierras raras	140
VI.5 Clasificación geoquímica de las muestras analizadas	143
VI.6 Análisis de procedencia	147
VI.7 Anomalías de Ce y La	153
VI.8 Análisis de la materia orgánica	157
VI.9 Conclusiones preliminares	159

Capítulo VII

VII Análisis Palinológico	160
VII.1 Introducción	160
VII.2 Diversidad paleogeografía y paleoecología durante el Proterozoico	161
VII.3 Proceso y material palinológico	165
VII.4 Elección de las muestras	166
VII.5 Descripción y clasificación de los microfósiles	167
VII.6 índice relativo de madurez térmica	172
VII.7 Conclusiones preliminares	175

Capítulo VIII

VIII Aplicaciones Industriales	176
VIII.1 Introducción	176
VIII.2 Normativa para la correcta definición de Puzolana	177
VIII.3 Objetivo	178
VIII.4 Composición química de los materiales puzolánicos	178
VIII.5 Arcillas calcinadas	179
VIII.6 Materia disponible: arcillas rojas: Formación Cerro Negro y lutitas negras: Formación Alicia	180
VIII.6.1 Elección de las muestras	180
VIII.7 Procedimiento experimental	181

VIII.7.1 Análisis químicos cuantitativos por fluorescencia de Rayos X (FRX)	181
VIII.7.2 Tratamiento térmico de las arcillas	182
VIII.7.3 Difracción de rayos X sobre muestras sin calcinar y calcinadas	182
VIII.7.4 Análisis térmico diferencial (DTA y TGA)	185
VIII.7.5 Evaluación de la actividad puzolánica mecánica de las arcillas activadas	188
VIII.8. Conclusiones	190
 Capítulo IX	
IX Discusiones y conclusiones	191
IX.1 Introducción	191
IX.2 Facies sedimentarias	191
IX.3 Mineralogía de las Arcillas	192
IX.4 Análisis petrográfico	194
IX.5 Análisis geoquímico	195
IX.6 Análisis de procedencia	196
IX.7 Análisis palinológico	197
IX.8 Modelo depositacional y estructural de subsuelo	198
IX.9 Aproximación a un marco estratigráfico secuencial	205
IX.9.1 Introducción	205
IX.9.2 Modelo estratigráfico-secuencial de los depósitos estudiados	207



IX.10 Nueva propuesta Estratigráfica	208
IX.11 Escenario Geodinámico	211
Bibliografía	213

CAPÍTULO I

I.1. Reseña Histórica y Marco Geológico

I.1.1 Reseña Histórica

I.1.2.1 Sedimentitas suprayacentes al Grupo Sierras Bayas (SGB)

I.1.2 Marco Geológico

I.2. Zona de estudio

I.3. Objetivos

Capítulo I (Reseña Histórica y Marco Geológico)

I. 1 Reseña Histórica y Marco Geológico

Con el objetivo de sintetizar el conocimiento geológico del Sistema de Tandilia y proporcionar un marco geológico de la zona de estudio propuesta en el tema de tesis, se introduce una referencia histórica para continuar con una breve descripción de las unidades litoestratigráficas presentes.

I.1.1. Reseña Histórica

La primera reseña histórica para la región es Don Juan de Garay, en su comunicado al Rey de España, Felipe II, que da cuenta de su expedición al sur de la Provincia de Buenos Aires, en noviembre de 1582, con estas líneas: "...a unas sesenta leguas de la Trinidad, legua y media de la mar, se acaba un ramo de la cordillera que baja de la tierra adentro, muestra grandes peñascos y en lo alto campiñas y en la costa en algunas partes, descubre pedazos de peñascos donde bate el agua y en aquellos peñascos hay gran cantidad de lobos marinos..." tomada del Acta Municipalidad de Buenos Aires, 1915. La Trinidad es hoy el puerto de Buenos Aires y "los peñascos donde bate el agua" se pueden interpretar como una descripción del cabo Corrientes, Mar del Plata. Convirtiéndose éste, en el primer escrito registrado sobre las Sierras de Tandilia.

Más tarde se suman las publicaciones de Darwin (1846), quien cruzó esta serranía por el extremo Noroeste, en las inmediaciones de Tapalqué, donde las variadas y numerosas formaciones, junto con las características de estas sierras, se hallan parcialmente desarrolladas, encontrándose escritas en su obra geológica *Geological observations in South-America*; Londres, 1946. Más tarde Moussy (1860), naturalista Francés, contratado por el Presidente Justo José de Urquiza como geógrafo para campañas de exploración del territorio de la Confederación Argentina, es el primero en dar datos precisos, al describir al sistema como una serie de cadenas bajas pero a veces muy abruptas, ubicadas entre los paralelos 37° y 38° de latitud sur y los meridianos 59° y 64° de longitud oeste, con longitud total de 160 millas y que tocan el mar en el Cabo Corrientes a los 38° de latitud sur (datos publicados, en la *Description Geographique et Statistique de la Confédération Argentine*, 1860-1864).

El primer trabajo sobre la naturaleza geológica de esta sierra, fue publicado por Heusser y Claraz (1864). Este trabajo se extiende sobre el extremo SE de las Sierras de Tandilia dando una clara idea de la fisonomía morfológica de toda esta cadena, a lo se suma una de las primeras columnas estratigráficas, "... dando una idea aproximada de la distribución sucesivas de los bancos...". Información que cosnta en el informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor

General, en la expedición al Río Negro realizada en los meses de abril, mayo y junio de 1879, bajo las órdenes del General Julio A. Roca. Entrega III Geología; Buenos Aires, 1882, por el Dr. D. Adolfo Doeringh.

En el siglo XIX contribuyen a dilucidar la geología de la zona, Aguirre (1874, 1882 y 1897), Latzina (1888,1889), Valentín (1894) y Hauthal (1896).

Ya en el Siglo XX, Nágera (1919, 1940) es autor del primer mapa geológico de Tandilia y en su trabajo “Historia Física de la Provincia de Buenos Aires”, denominó a la secuencia como “estratos de la Tinta”; En él describe el relieve de Tandilia con un área de 10.000km² de forma elíptica cuyo eje mayor se orienta de SE a NO con una longitud aproximada de unos 336 km.

También se destacan las contribuciones de Schiller (1930, 1938), Harrington (1940), González Bonorino (1954), Borrello (1966) quien definió a la secuencia como Grupo Tandil y más tarde Antonioli (1969) definió a la Formación la Tinta, entre otros.

Ya en la década del '70-80 los trabajos de Amos *et al.* (1972), Marchese y Di Paola (1974), Dalla Salda e Iñiguez (1979), Teruggi y Kilmurray (1980), Cingolani y Bonhomme (1982), Poiré e Iñiguez (1984), Zalba *et al.* (1987) y Poiré (1987), entre otros, definen lo que es hoy la base de la estratigrafía del Sistema de Tandilia (Cuadro I.1).

	NAGERA 1919	G.BONORINO 1954 Sras. Bayas	BORELLO 1966	AMOS ET AL 1972 Sierras Bayas	BALCARCE M.del Plata	MARCHESE-DI PAOLA 1974 Sras.Bayas Barker	BALCARCE P. Mogotes	DALLA SALDA IÑIGUEZ 1979	TERUGGI KILMURRAY 1980	POIRE IÑIGUEZ 1984 Sierras Bayas	ZALBA et.al 1987 C.de Las Águilas	POIRE 1987 Sierras Bayas
CARB.		CALIZAS ARCILLAS CUARCIT. SUP. DOLOM. CUARCIT. INF.										
DEV												
SIL.	HORIZ. CALCAREO "ARCILLITAS "CUARC. SUP. "DOLOM. "CUARC. INF.		CALIZA L.N. (ARCILLITAS) CUARC. SUP. DOLOM. CUARC. INF. F.P. MOGOTES									
ORD.					CUARCITAS BALCARCE			F. BALCARCE	MCALIZAS "ARCILLITAS "ORTO CUAR. "DOLOM. "ORTO CUAR.		F. BALCARCE	
CAMBR.					F. PUNTA MOGOTES				MCALIZAS "ARCILLITAS "ORTO CUAR. "DOLOM. "ORTO CUAR.			
PRECAMBRICO	BASAMENTO CRISTALINO	BASAMENTO CRISTALINO	BASAMENTO CRISTALINO	F.L. TINTA M. CALIZAS "ARCILLAS "CUAR. SUP. "DOLOM. "CUAR. INF.	BASAMENTO CRISTALINO	F.L. TINTA M. CALICAREO "PELITICO "CUARCIT. "DOL. PELIT. "CUARCIT.	LITOFACIES ARENOSA LITOFACIES ARENOSA	F.C* NEGRO CALIZAS ARCILLITAS CUARC. SUP. DOLOM. CUARC. INF.	BASAMENTO CRISTALINO	F.C* NEGRO M. CALIZAS "ARCILLITAS "CUARC. SUP. "PSAMOPEL. "DOLOMIAS "CUARC. INF.	F.LAS AGUILAS CUAR. SUP. DOL. ARCIL. PSAM. CUAR. INF.	F.C* NEGRO F.LOMA NEGRA F.C* LARGO F.V. MONICA
				BASAMENTO CRISTALINO		COMPLEJO BAS. AS. ROCAS GRANITICAS MIGMATITAS	METAPEL. P. MOGOTES	BASAMENTO CRISTALINO		BASAMENTO CRISTALINO	BASAMENTO CRISTALINO	COMPLEJO BUENOS AIRES

Cuadro I.1: Cuadro comparativo del Sistema de Tandilia para los años 1919 a 1987 (Iñiguez *et al.*, 1987).

I.1.2. Marco Geológico

El Sistema de Tandilia (Nágera, 1940) “no constituye una unidad orográfica definida, sino una sucesión de cerros y lomadas, resultantes de la acción tectónica y de la erosión”. Corre con un rumbo general noroeste-sudeste, tiene una extensión longitudinal de 350 km y una zona central ensanchada de unos 60 kilómetros, con alturas máximas de 500 m.s.n.m.

Este cordón (Figura I.1) se ubica comprendido entre las latitudes 36° 30' y 38° 10'S y las longitudes de 57°30' y 61° O (Iñiguez et al., 1987).

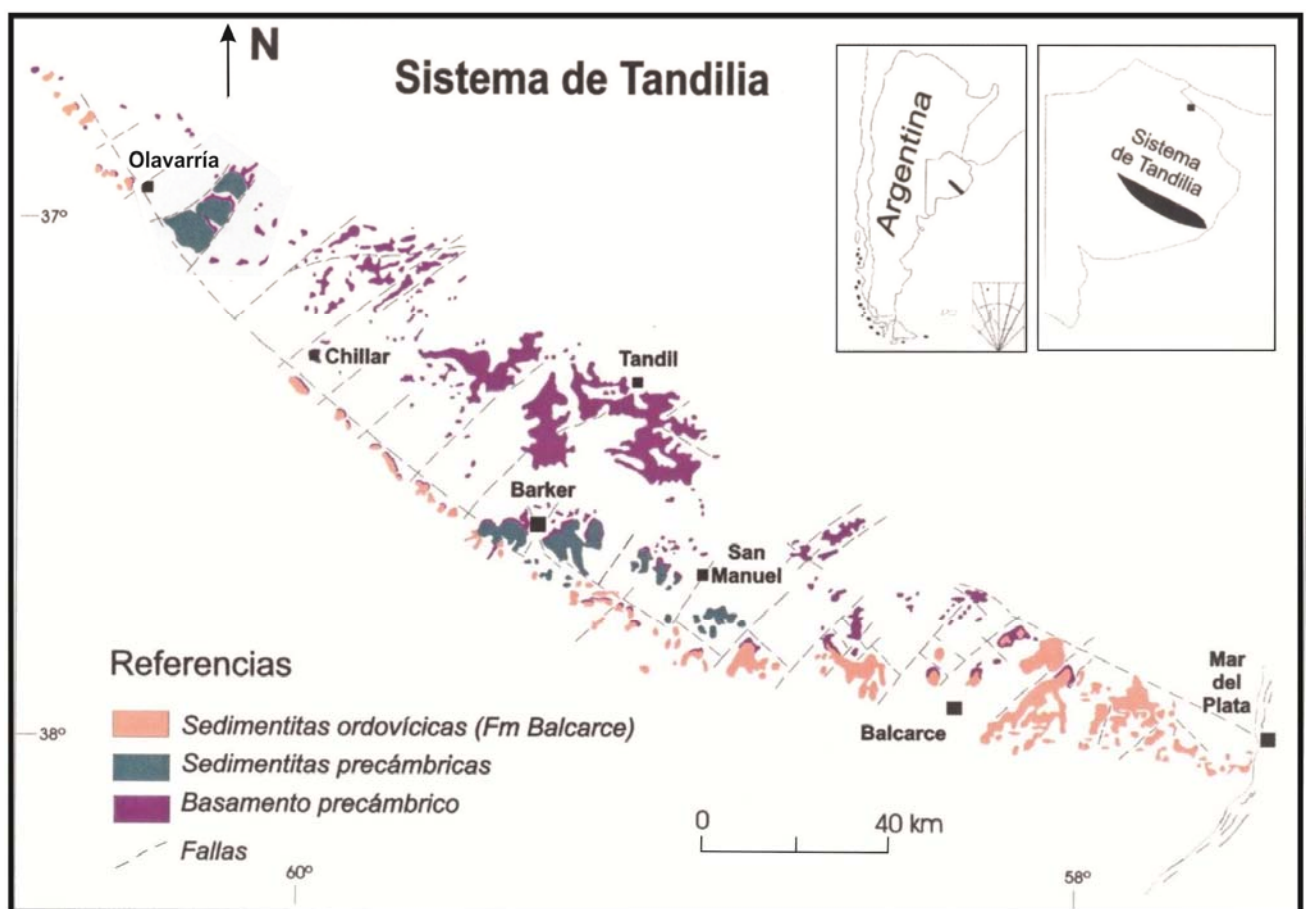


Figura I.1. Mapa Geológico del Sistema de Tandilia
(Modificado de Iñiguez et al, 1987; Poiré 2003; Gómez Peral et al., 2007)

Las rocas del sistema de Tandilia forman parte del Cratón del Río de la Plata (CRP) (Almeida *et al.*, 1973, 1976, 2000; Cingolani *et al.*, 2000) el cual, junto con diversos bloques, conformaron la zona sudoccidental del continente de Gondwana (Bossi, y Cingolani, 2009) (Figura I.2).

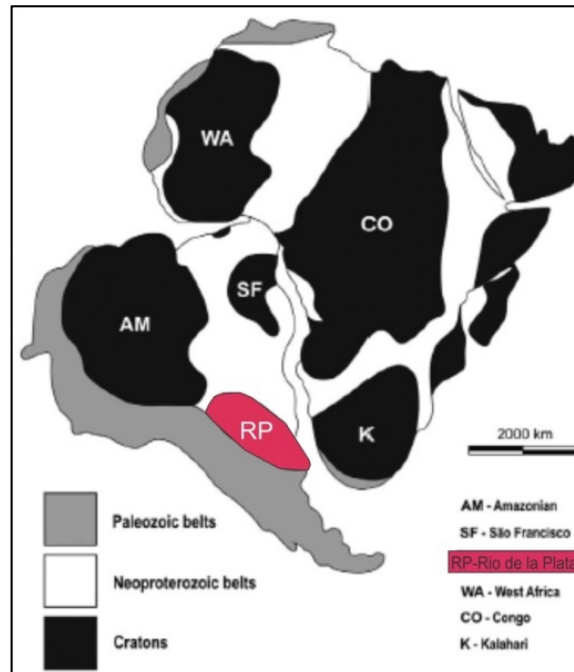


Figura I.2 Ubicación del Cratón del Río de la Plata (CRP) pre-deriva del Gondwana occidental. (Modificado Bossi y Cingolani, 2009).

La sucesión se inicia con el basamento cristalino ígneo metamórfico, denominado Complejo Buenos Aires (Di Paola y Marchese 1975a, b), posteriormente estudiado por otros autores entre los que se encuentran Teruggi y Kilmurray, (1980); Dalla Salda *et al.*, (1988); Cingolani y Dalla Salda, (2000). Se le asigna una edad Paleoproterozoica, determinada por K-Ar, Rb-Sr y U-Pb SHRIMP en circones. El rango de edad para las rocas graníticas, gneises, migmatitas y anfibolitas, oscila entre los 2.26 y 2.07 Ga (Rapela, 2000; Pankhurst *et al.*, 2003 y trabajos citados allí). Sobre el basamento cristalino se observa un nivel de alteración que tiene hasta 3 m de espesor y está conformado por una arcosa residual o saprolito, friable, de colores amarillentos, verdes y rojizos. Este nivel deja en evidencia que anteriormente a la depositación que lo cubren, existió un periodo de exposición subaérea (Poiré, 1987 a,b; Zalba *et al.*, 1993).

En forma discordante se apoya sobre el Basamento ígneo metamórfico complejo Buenos Aires, una sucesión sedimentaria neoproterozoica - eopaleoproterozoica, de unos 350 metros de espesor, denominada Grupo Sierras Bayas y Formación Cerro Negro (Poiré y Spalletti, 2005; y trabajos citados allí). Estas secuencias se encuentran expuestas en las áreas de Olavarría y Barker - San Manuel, en los sectores noroccidental y central de las sierras.

El Grupo Sierras Bayas y la Formación Cerro Negro (en conjunto, antiguamente llamados Grupo la Tinta por [Amos *et al.*, 1972](#)) conforman los afloramientos más australes del cratón del Río de La Plata y se han correlacionado con unidades equivalentes de Uruguay ([Gaucher *et al.*, 2005](#)) y de los estados brasileños de Paraná y São Paulo ([Aceñolaza y Ciguel, 1987](#)) y con el Grupo Nama de Sudáfrica ([Dalla Salda, 1982](#) y [Gaucher 2005](#)).

El Grupo Sierras Bayas ([Dalla Salda e Iñiguez, 1979](#); [Poiré, 1993](#)) está integrado, de base a techo, por las formaciones: Villa Mónica ([Poiré, 1993](#)), Colombo ([Poiré, 1993](#) y [Gaucher, 2009](#)) Cerro Largo ([Poiré, 1993](#)), Olavarría ([Andreis *et al.*, 1996](#)) con su equivalente Las Águilas ([Zalba, 1978](#)) en la zona de Barker y Loma Negra ([Borrello, 1966](#)). En relación de discordancia, por encima de este grupo, se reconoce a la Formación Cerro Negro ([Angelelli, 1973](#) e [Iñiguez y Zalba, 1974](#)), unidad que será uno de los focos principales de estudio de este trabajo de tesis. Finalmente y coronando la sucesión sedimentaria se encuentra la Formación Balcarce ([Dalla Salda e Iñiguez, 1979](#)), de edad paleozoica inferior ([Zimmermann *et al.*, 2009](#)).

En la [Figura I.3](#) se presenta la columna estratigráfica del Grupo Sierras Bayas y de la Formación Cerro Negro ([Gómez Peral, 2008](#), modificada por [Cingolani, 2011](#)).

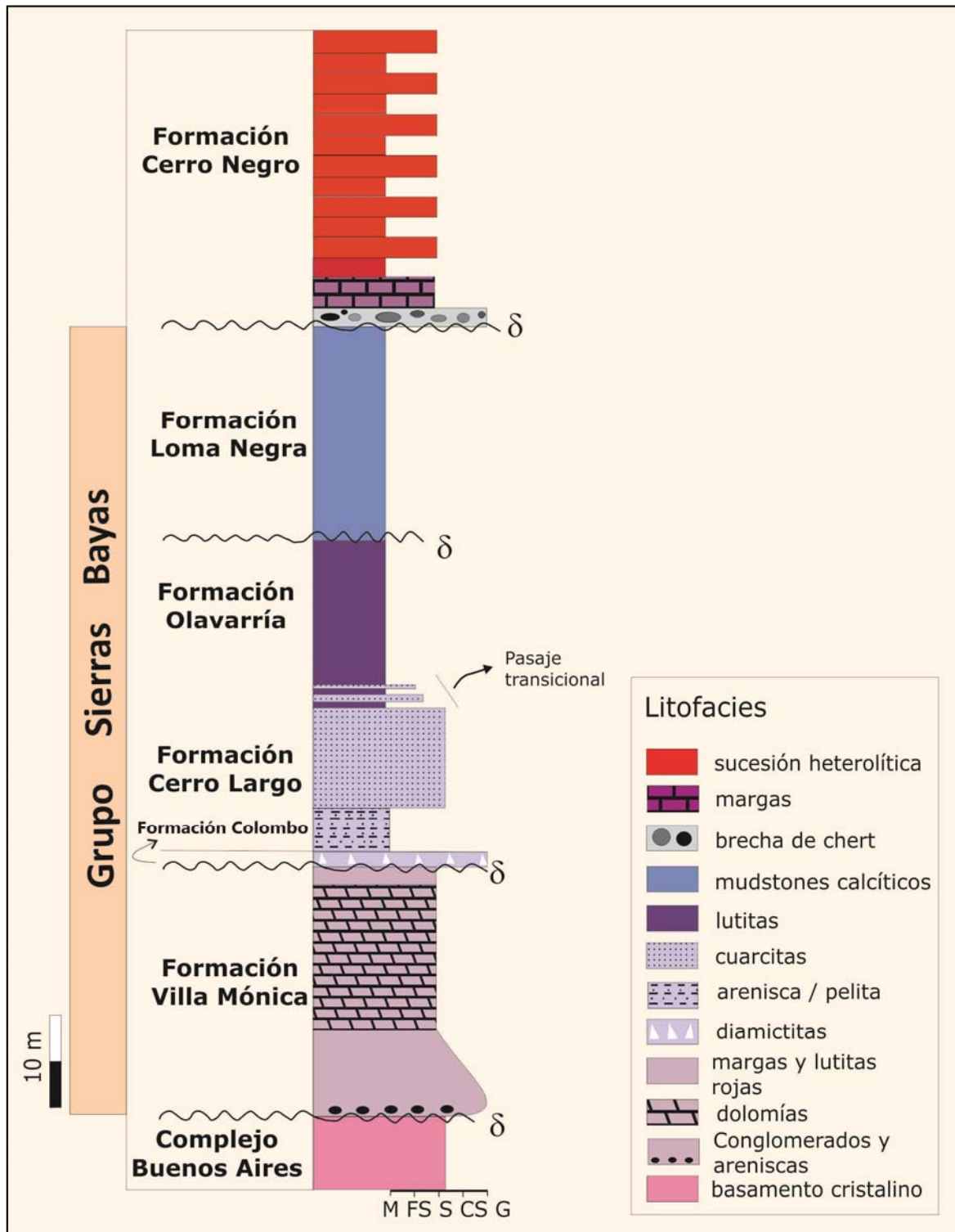


Figura I.3. Columna estratigráfica del Grupo Sierras Bayas y Formación Cerro Negro.
(Modificado por Cingolani, 2011).

Lñiguez *et al.* (1989) propusieron un ordenamiento estratigráfico que se ajusta a cinco ciclos o secuencias sedimentarias, tres Neoproterozoicas, una Ediacariana - Cámbrica y por último una ordovícica - silúrica, definidas a partir de cambios relativos del nivel del mar y que están limitadas entre sí por discordancias. Spalletti *et al.* (1996) le asignaron a las mismas las siguientes denominaciones: Secuencia Tofolletti, Secuencia Malegni, Secuencia Villa Fortabat, para las secuencias Neoproterozoicas; Secuencia La Providencia para el período Ediacariano-Cámbrico y Secuencia Batán para el Ordovícico – Silúrico. Posteriormente, Poiré y Spalletti (2005) reconocieron otra secuencia Neoproterozoica llamada Secuencia Diamante (Cuadro I.2.).

Eras Periodos	Unidades estratigráficas						Secuencias deposicionales
	Región NO		Región Central		Región SE		
Silúrico					Formación Balcarce		Secuencia Batán
Ordovícico	Formación Balcarce		Formación Balcarce		Formación Balcarce		
Neoproterozoico		Fm. Cerro Negro		Fm. Cerro Negro	Diamictitas sierras del Volcán	Fm. Punta Mogotes	Secuencia la Providencia
					Fm. Avellaneda		
	Grupo Sierras Bayas	Fm. Loma Negra	Grupo Sierras Bayas	Fm. Loma Negra			Secuencia Villa Fortabat
		Fm. Ola varría		Fm. Las Águilas			Secuencia Diamante
		Fm. Cerro Largo		Fm. Cerro Largo			Secuencia Malegni
		Fm. Colombo					
		Fm. Villa Mónica		Fm. Villa Mónica			Secuencia Tofolletti
Proterozoico	Complejo Buenos Aires						

Cuadro I.2. Cuadro estratigráfico, Sistema de Tandilia (Poiré y Spalletti, 2005).

Es preciso remarcar que toda la sucesión sedimentaria estudiada hasta ahora, se caracteriza por haber alcanzado una diagénesis de soterramiento somero a profundo sin evidencias de fenómenos metamórficos (Gómez Peral *et al.*, 2007). Desde el punto de vista tectónico, esta sucesión está afectada por fracturas con importantes desplazamientos horizontales (Dalla Salda, 1981 y Almeida *et al.*, 1973). Las fracturas que afectan al complejo ígneo metamórfico siguen orientaciones noreste-sudoeste, delimitando bloques que buzan en ese sentido provocando rechazos horizontales de varios kilómetros (Teruggi *et al.*, 1973).

A continuación se realiza una breve síntesis de cada una de las secuencias depositacionales, con el fin de darle un marco estratigráfico a este trabajo de investigación. Hay que tener en cuenta la existencia, de importantes avances en el conocimiento de la cobertura sedimentaria Neoproterozoica – Cámbrica, presente en la bibliografía de los últimos diez años, citando los más recientes como ser: Poiré y Spalletti (2005); Zimmerman *et al.* (2005); Gómez Peral (2008); Poiré y Gaucher (2009) y Cingolani, *et al.* (2011).

Secuencia Tofolletti (Primer ciclo sedimentario - Formación Villa Monica) Esta secuencia esta limitada por una discordancia erosiva en la base y otra en el techo, se inicia con una asociación de facies cuarzo arcósicas producto de una transgresión del mar sobre la zona de alteración del basamento (Iñiguez 198; Poiré, 1993); esta secuencia silicoclástica finaliza con facies lutíticas asociadas a delgados niveles de areniscas. Por encima, se evidencian cambios ambientales que marcan el pasaje de un ambiente marino netamente silicoclastico, en donde el material proviene de las rocas de basamento (Poiré, 1987; Zimmerman *et al.*, 2005; Gómez Peral *et al.*, 2011), a otro mas propicio para la formacion de rocas carbonáticas, compuestas por dolomías estromatolíticas laminadas y pelitas verdes y lutitas (Poiré 1987, 1993). Por debajo del paquete dolomítico se destacan lentes fosfáticos en pelitas asociados a niveles ricos en *chert* y goethita (Gómez Peral, 2014). La secuencia de dolomías finaliza con nivel de pelitas rojas con laminación ondulítica, grietas de desecación y lentes de margas rojizas. Toda la secuencia tiene un espesor que varía entre los 52 a los 70 metros (Gómez Peral, 2008). En el tope de esta unidad se describe una superficie cárstica con claras evidencias de dedolomitización y desarrollo de cavernas que fue denominada Superficie Piedra Amarilla (Gómez Peral, 2008; Gómez Peral *et al.*, 2012). Esta unidad ha sido tentativamente asignada a una edad que va de los 800 – 900 Ma en relación a los estromatolitos (Poiré, 1987). Estudios paleomagnéticos en el nivel meteorizado superior señalan una edad de 600 Ma para la superficie Piedra Amarilla (Rapalini *et al.*, 2012).

Secuencia Malegni (Segundo ciclo sedimentario – Formación Cerro Largo) Esta unidad esta limitada en su base por discordancia erosiva; su techo presenta un pasaje transicional a la Formación Olavarría en el área de Olavarría-Sierras Bayas y uno discordante en Barker (Poiré, 1987; Poiré y Spalletti, 2005).

En la base de la secuencia aparece un nivel diamictítico con facies de fangolitas amarillentas y blanquecinas, cuarzo-illíticas, con lentes de brechas de ftanita y bloques cuarcíticos. Este paquete sedimentario, denominado Diamictita Colombo (Poiré y Gaucher, 2009) había sido considerado como la base de la Formación Cerro Largo y más tarde como la Formación Colombo (Poiré, 1993 y Rapalini, 2013). La mala selección de estos depósitos indicaría un origen glacial a las glaciaciones del Sturniano (720-740 Ma). Al mismo tiempo es posible considerarla como una unidad independiente entre la formación Villa Mónica y la Formación Cerro Largo (Poiré *et al.*, 2009).

Inmediatamente por arriba de la Fm. Colombo la sucesión continúa con sedimentitas psamo-pelíticas varicolores con micas glauconíticas, las cuales son un buen indicador paleoambiental por su génesis en mares abiertos de plataforma estable a profundidades mayores a los 50 m, en condiciones de baja tasa de sedimentación. Toda la secuencia tiene un espesor de 40 metros (Poiré, 1987).

Secuencia Diamante (Tercer ciclo sedimentario – Formación Olavarría y Formación Las Águilas) Definida recientemente por Poiré y Spalletti (2005). Esta unidad presenta un contacto basal de tipo transicional con respecto a la formación Cerro Largo dado por la intercalación de pelitas y areniscas. La Formación Olavarría fue definida previamente por Andreis *et al.* (1996), para la cual habrían inferido una discordancia en el contacto inferior.

En el área de Olavarría esta unidad tiene unos 35 m de espesor y está conformada por una asociación de facies pelíticas y heterolíticas. En el sector inferior-medio está constituida por arcilitas y limolitas amarillentas de 27 m de espesor con estratificación mixta, que va de ondulosa a lentiforme hacia el tope. Se intercalan en estas pelitas niveles estratificados de 5 a 15 cm de espesor, paralela a la estratificación, con tenores de óxidos de hierro que van entre los 32 y 70% (Gómez Peral, 2008) correlacionables con otros depósitos de hierro neoproterozoicos como los del Grupo Jacadigo en Brasil o los depósitos de BIF en el grupo Arroyo del Soldado, Uruguay (Gaucher, 2000; Gaucher *et al.*, 2003, 2004c). En el sector superior se observa la facies de arcilitas rojizas (de 8 m de espesor).

Secuencia Villa Fortabat (Cuarto ciclo sedimentario – Formación Loma Negra) Constituye la Formación más joven dentro del Grupo Sierras Bayas, tiene una potencia de 40 m con base discordante de bajo ángulo y techo erosivo (Poiré, 1987). Está compuesta casi exclusivamente de calizas micríticas (rojizas en la parte basal y negras en la parte media y superior) las cuales se habrían originado en ambientes de rampa y plataforma restringida o albufera respectivamente (Poiré, 1987). La secuencia puede dividirse de acuerdo a su litología, en un nivel inferior de calizas rojizas (8 m) y uno superior de calizas negras (32 m).

Las trazas fósiles *Helminthopsis* isp., y posibles marcas de medusas fueron identificadas por Poiré *et al.* (2003). La presencia de *Cloudina* cf. *C. riemkeae*, fue reportada por primera vez por Gaucher *et al.* (2006). Gómez Peral *et al.* (2004), señalan que el grado diagenético alcanzado por las calizas de la

Formación Loma Negra es sustancialmente más bajo que el de las dolomías de la Formación Villa Mónica que se encuentran sólo 70 m estratigráficamente más abajo. Esta diferencia diagenética entre ambos niveles carbonáticos sugiere la erosión de una importante cubierta de sedimentos por encima de las dolomías de la Formación Villa Mónica (Poiré y Spalletti, 2005) reconocida como superficie Piedra Amarilla por Gómez Peral *et al.* (2011).

Los datos aportados recientemente de isótopos de Sr y C, junto a la identificación de *Cloudina*, (Gaucher *et al.*, 2005) permiten asignar a esta unidad una edad tentativa de 580-590 Ma, (Gómez Peral *et al.*, 2007).

Esta unidad testimonia condiciones favorables para la precipitación de carbonatos, pero hacia el techo se produce un descenso del nivel marino y la exposición de las facies carbonáticas, con formación de un relieve cárstico (Barrio *et al.*, 1987), denominado Superficie Barker (Poiré *et al.*, 2007).

I.1.2.1 Sedimentitas suprayacentes al Grupo Sierras Bayas (SGB)

Iñiguez y Zalba (1974) describieron por primera vez un nivel de arcillas en la cantera Cerro Negro, para el cual proponen el nombre de la misma para llamar a la formación, describiéndola como una secuencia psamopelítica de composición litológica diferente al resto de las unidades anteriormente mencionadas y que se ubican sobre las calizas de la Formación Loma Negra.

Más tarde Barrio *et al.* (1991) indican que las rocas pelíticas, silíceas y calcáreas rojizas (de la F. Cerro Negro) se adaptan a las irregularidades de un paisaje cárstico atribuido a cambios eustáticos. El resultado es una superficie cárstica donde se acumulan arcillas y margas de origen residual, presentándose en la base de éstas brechas de *chert*, interpretadas como brechas de talud, que resultan de la exposición subaérea o telodiagénesis (Gómez Peral, 2008). En el área de Barker se reconoce una facies fosfática, con apatita recristalizada por reemplazo de fosfatos amorfos en condiciones oxidantes (Leanza y Hugo, 1987), que fue vinculada a un evento fosfogenético global del final del Ediacareano (Gómez Peral *et al.*, 2005; 2010).

En el área de Barker, se han reconocido acritarcos de morfología simple del tipo *Sphaeromorphitae* apoyando la idea de una edad precámbrica (Cingolani y Gaucher, 1985 y Gaucher *et al.*, 2005).

La **Secuencia La Providencia** (quinto ciclo sedimentario – Formación Cerro Negro) para la región de Sierras Bayas –Olavarría, es una secuencia de arcilitas de color castaño rojizo con tonalidades verdosas y marcada laminación ondulítica. El paquete presenta ritmos de psamitas finas y arcilitas,

estas últimas de composición illita-clorítica, de alrededor de 110 m de espesor y dispuesto en discordancia sobre la secuencia calcárea (Iñiguez y Zalba, 1974).

Andreis *et al.*, (1992), interpretaron a la formación Cerro Negro como dos sistemas depositacionales. El **sistema depositacional basal** que cubre totalmente el relieve cárstico representado por depresiones cóncavas y elongadas, a modo de canales, esta rellena por facies calcáreas y silicoclásticas (pelitas y muy escasa heterolíticas) y su espesor máximo aflorante en cantera San Martín, alcanza a los doce metros.

Según los mismos autores las pelitas se concentran en la base de los “canales” con coloraciones verdosas hasta rojizas e incluyen nódulos hasta bochones de ftanita. Las pelitas pueden ser macizas o laminadas. Por su parte los calcáreos de tonalidades rojizas o grises (margas y limolitas calcáreas) se apoyan indistintamente sobre las micritas negras, con estratificación tabular, contactos ondulados; frecuente laminación y óndulas de corriente. Se asocian a limolitas calcáreas con estructuras ondulosas o lentiformes.

El **sistema depositacional superior** está constituido exclusivamente por silicoclastitas, facies pelitas, facies arenas y facies heterolíticas de carácter netamente silicoclastico. Las facies arenosas muestran calcos de carga, punzamiento y/o roce, por otro lado las facies heterolíticas tienen óndulas de corriente u oleaje. Las paleocorrientes tienen una orientación predominante SE y O (Andreis *et al.*, 1992).

I.2. Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en el área de Olavarría, más específicamente en el núcleo austral de las Sierras Bayas (Fig. I.4). Es allí donde se concentran canteras que dejan expuestas las sedimentitas aquí abordadas (cantera Cerro Negro, cantera C.A.S.A y cantera El Polvorín). Por otro lado, los estudios de subsuelo realizados en los yacimientos pertenecientes a Cementos Avellaneda S.A. en el periodo 2008-2013, han posibilitado el reconocimiento de estas unidades casi en su totalidad, es decir desde el contacto basal con el Grupo Sierras Bayas hasta la facies típicas de la Formación Cerro Negro.

La zona de trabajo está representada por dos lugares claves: el *Yacimiento Alicia*, (latitud: 37° 01' 48'' sur y longitud: 60° 19' 58'' oeste) al cual se accede por la ruta provincial 76 y el *Yacimiento La Cabañita*, (latitud: 36° 59' 48'' sur y longitud 60° 13' 17,8'' oeste), camino a la Providencia. Como se mencionó anteriormente, ambos yacimientos son propiedad de la empresa Cementos Avellaneda S.A., la cual ha permitido el acceso a las canteras y a los testigos de perforación. Estos yacimientos no están aun completamente abiertos lo cual hace que la **nueva unidad litoestratigráfica** de interés (lutitas

negras a grises), no se encuentre expuesta en ningún frente de cantera, por lo cual **su estudio se ha llevado adelante en testigos de perforación**. Es importante remarcar que se tuvieron en cuenta canteras aledañas, que al tener sus frentes de explotación expuestos permitieron realizar perfiles sedimentológicos, como ser la Cantera Cerro Negro.

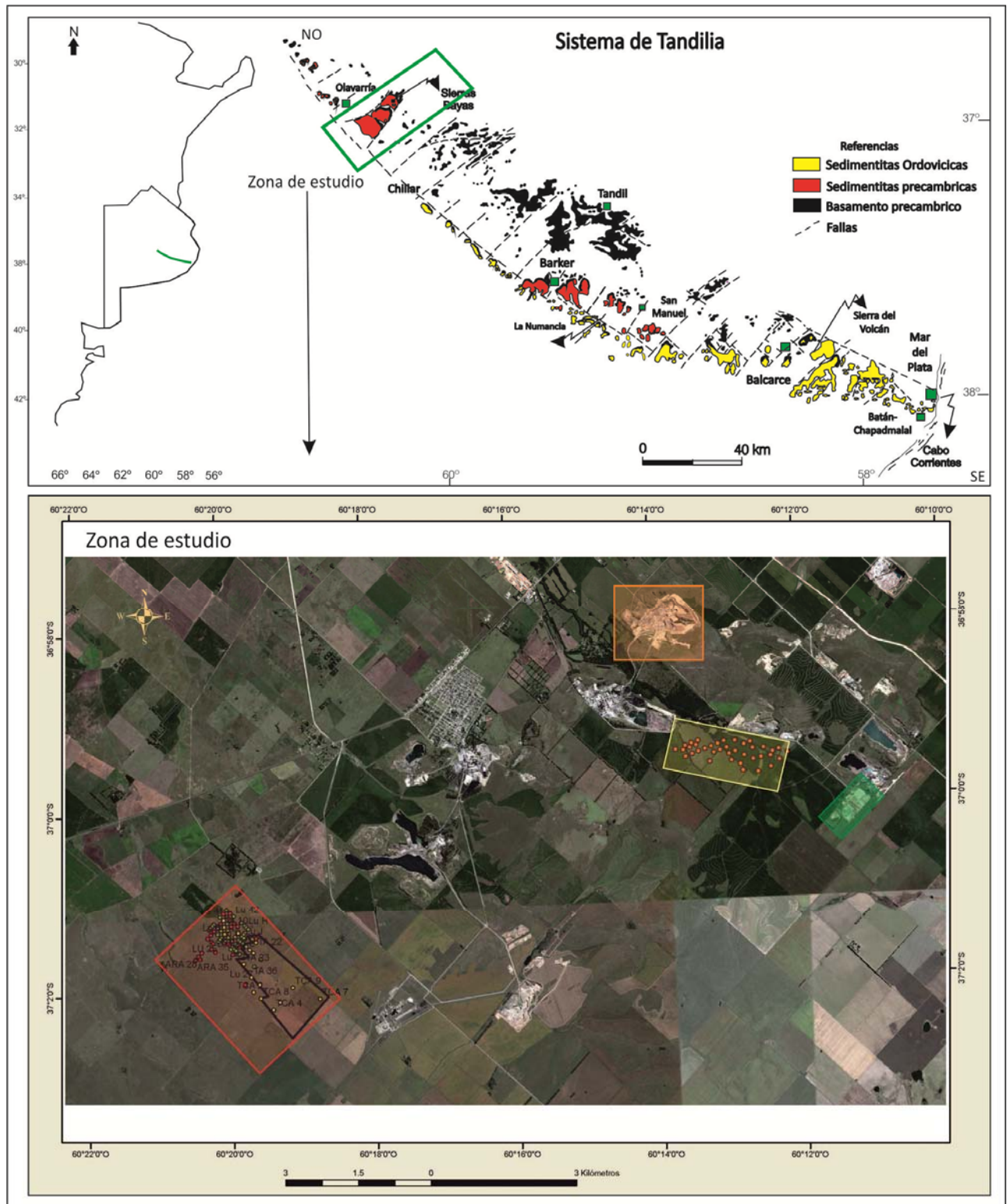


Figura 1.4 A) Mapa del basamento cristalino y cubierta sedimentaria precámbrica/paleozoica inferior del sistema de Tandilia. Iñiguez *et al.*, 1987. B) Imagen aérea georeferenciada de la zona de Estudio.

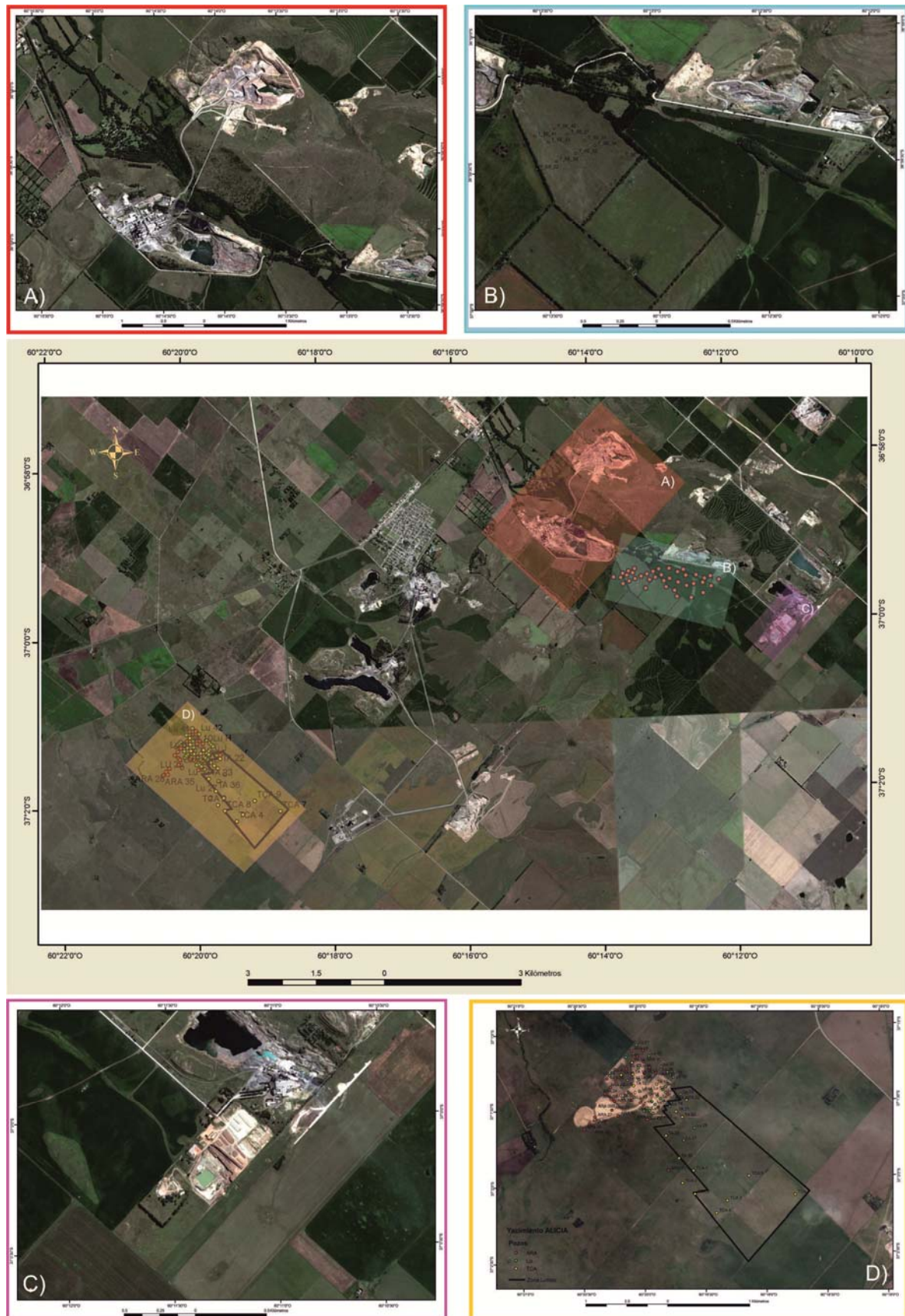


Figura I.5. Área de trabajo. A) Cantera C.A.S.A y Cantera El Polvorín. B) Yacimiento La Cabañita C) Cantera Cerro Negro. D) Yacimiento Alicia.

I.3. Objetivos

El objetivo principal que plantea este trabajo es caracterizar, con el mayor detalle posible, la sucesión sedimentaria Ediacarana - Paleozoica que apoya sobre las calizas de la Formación Loma Negra.

Cabe destacar que, una parte de esta sucesión, ha sido reconocida por primera vez en subsuelo en el Núcleo Austral de las Sierras Bayas. Su caracterización y estudio en profundidad, permitirá obtener elementos aún desconocidos, de un nivel de sedimentitas (fangolitas grises a negras) de más de 150 m de espesor que representa un registro geológico inédito y de ubicación temporal incierta.

Entender las características paleoambientales y paleoecológicas contribuirá a la reconstrucción paleogeografía del borde sudoccidental de Gondwana en el Ediacareano -Paleozoico y los eventos geológicos, climáticos y faunísticos acontecidos en dichos tiempos.

Se hará hincapié en el estudio de facies sedimentarias, con el reconocimiento de todas sus estructuras sedimentarias mecánicas y orgánicas; se analizarán las arcillas y su distribución dentro de los perfiles, se realizará análisis petrográficos en las facies más gruesas, análisis geoquímicos para poder determinar la procedencia y caracterizar el ambiente sedimentario. Los estudios palinológicos, ayudará a obtener una reconstrucción paleoambiental y permitirán hacer inferencias respecto a la edad de los diferentes paquetes sedimentarios.

Por último se llevarán a cabo una serie de ensayos físicos y químicos, con el fin de determinar la utilidad de estas rocas para la industria cementera como material puzolánico.

CAPÍTULO II

Capítulo II

II.1. Metodología utilizada

II.1.1. Recopilación, lectura y análisis bibliográfico

II.1.2. Tareas de Campo

II.1.3. Tareas de Gabinete y de laboratorio

II.1.3.1. Representación Grafica de Perfiles

II.1.3.2. Identificación y análisis de facies sedimentarias

II.1.3.3. Difracción de Rayos X

II.1.3.4. Petrografía

II.1.3.5. Análisis Geoquímicos

II.1.3.6. Análisis Palinológico

Capítulo II (Metodología)

II.1. Metodología utilizada.

II.1.1. Recopilación, lectura y análisis bibliográfico

La recopilación bibliográfica del Sistema de Tandilia y su posterior lectura y análisis, consistió en la primera etapa y permitió adquirir un conocimiento mayor de las unidades sedimentarias que comprenden el sistema. Si bien la bibliografía disponible resultó abundante, la mayoría de los trabajos hacen referencia al complejo ígneo metamórfico (complejo Buenos Aire), al Grupo Sierras Bayas y a la Formación Balcarce; solo en escasas publicaciones se exponen las características de los depósitos que se ubican sobre el Grupo Sierras Bayas.

Se intensificó luego la lectura de la bibliografía específica, que se fue planteando a medida que se iba profundizando en el trabajo de tesis, en temas relacionados a los principios básicos de la sedimentación de las rocas pelíticas y sus ambientes depositacionales. A su vez se reforzó el conocimiento teórico que se tenía en temas como petrografía, difracción de rayos X y geoquímica de rocas sedimentarias.

La palinología, disciplina poco conocida para el grupo de trabajo, motivó la necesidad de investigar sobre el tema recopilando y analizando la bibliografía específica.

II.1.2. Tareas de Campo

La zona de trabajo se encuentra relativamente cerca de la ciudad de La Plata y es de fácil acceso, se llevaron a cabo reiterados viajes de campo, en el transcurso de los cuales se relevaron diferentes zonas de interés comprendidas en la zona de estudio. Las tareas de campo consistieron en el levantamiento de perfiles sedimentológicos de detalle tipo Selley con escala 1:50.

El levantamiento de los perfiles se llevó a cabo con dos modalidades diferentes, aquellos que fueron relevados en frentes de canteras (Figura II.1) banco a banco y los que fueron descriptos en los testigos de perforación (Figura II.2). Para estos últimos, en primera instancia se realizó una descripción rápida en el campo durante la campaña de perforación (Figura II.3) y posteriormente fueron trasladados a una sala acondicionada para la tarea de descripción en detalle o logeo.

Es importante señalar, que se intentó seccionar por la mitad a los testigos para su mejor observación, pero debido a su pequeño diámetro Ø NQ (3,33 cm) y Ø HQ (6,35 cm) y a la abundante

laminación como estructura interna principal, esta técnica no fue posible de llevarse a cabo por que la ruptura del testigo casi en su totalidad (Figura II.4).

Se puso énfasis en el reconocimiento de las distintas litologías presentes, identificación y descripción de las diferentes estructuras sedimentarias, caracterización de las discontinuidades que limitan los cuerpos de rocas, las discontinuidades internas y las variaciones de colores en los niveles pelíticos.

En el caso de los perfiles relevados en los frentes de cantera se caracterizó además la geometría lateral de los diferentes cuerpos de roca y se midieron, datos de paleocorrientes.

Simultáneamente se realizó un muestreo sistemático en la mayoría de los perfiles, destinado al análisis mineralógico, petrográfico, geoquímico, palinológico y para ensayos físicos.



Figura II.1: Frente relevado en la Cantera El Polvorín: Cementos Avellaneda S.A (Perfil El Polvorín).

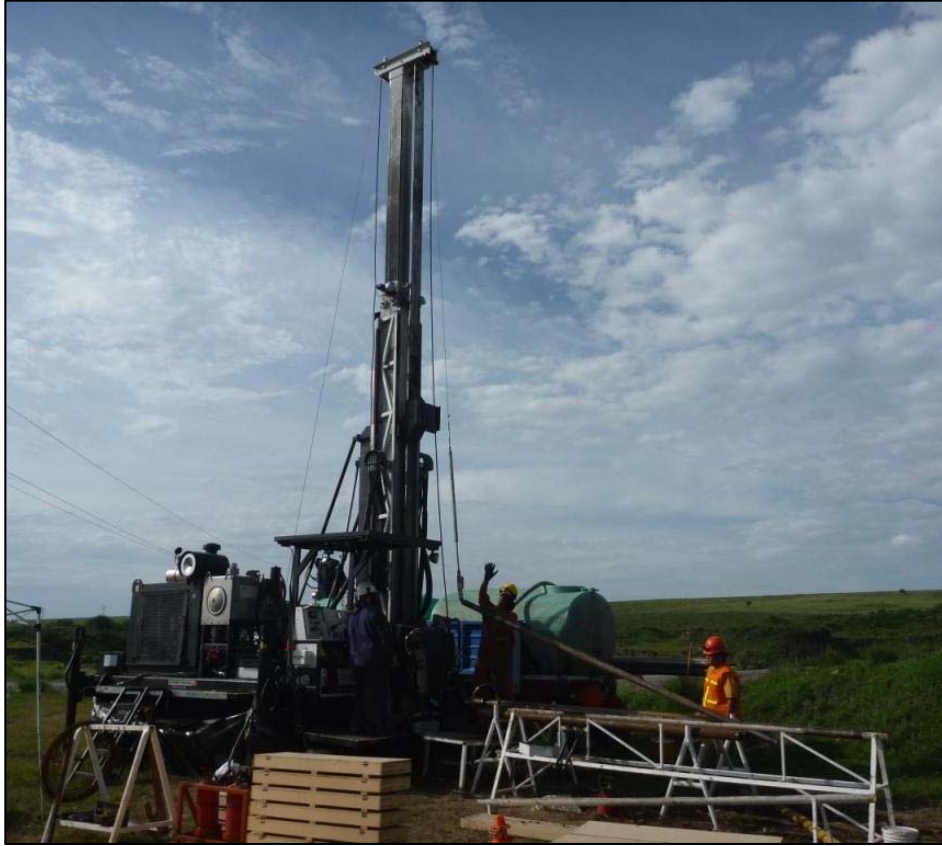


Figura II.2: Obtención de testigos corona. Máquina perforadora, Yacimiento La Cabañita, Cementos Avellaneda S.A. Olavarría (Perfil TCA 18).



Figura II.3: Testigos de perforación (Perfil TA 22).



Figura II.4: Testigos de perforación de diámetro Ø NQ, donde se observa la abundante laminación que imposibilitó seccionar el testigo por la mitad (Perfil TCA 10).

II.1.3. Tareas de Gabinete y de Laboratorio.

Toda la información obtenida en los trabajos de campo, fue procesada y analizada en gabinete, mediante la confección de secciones columnares, definición de facies y asociaciones de facies sedimentarias, preparación y observación de los cortes petrográficos, procesamiento de muestras para difracción de RX y fluorescencia de RX, preparación de muestras para geoquímica y posterior interpretación de todos los resultados. Finalmente en laboratorios externos, **IANIGLIA** en la ciudad de Mendoza y **UDELAR** en la Facultad de Ciencias, Universidad de Uruguay; se realizaron y analizaron los preparados palinológicos.

II.1.3.1. Representación gráfica de perfiles.

Las secciones columnares a escala 1:50, fueron representadas gráficamente utilizando un programa de dibujo, permitiendo visualizar de manera rápida e integral toda la información recolectada en el campo, como ser: litología, estructuras sedimentarias primarias, contactos litológicos, entre otros.

II.1.3.2. Identificación y análisis de facies sedimentarias.

Con todos los datos obtenidos en el campo, sintetizados en las representaciones gráficas columnares, se definieron las litofacies sedimentarias las cuales fueron cuidadosamente descriptas e interpretadas. La asignación de un código de facies fue definida sobre la base del modelo clásico propuesto por Miall (1990, 1996), en el que la letra mayúscula inicial hace referencia a la litología y una letra minúscula siguiente a la estructura sedimentaria mecánica u orgánica. En este mismo sentido, cabe destacar, que para las pelitas el color es una referencia importante a la hora de definir las facies, por tal razón cuando se encuentren dos letras minúsculas, la primera corresponde al color y la segunda a la estructura; por ejemplo PArm alude a Pelitas Arcilitas rojas masivas. Finalmente y a modo de síntesis se confeccionó un cuadro donde se ubica cada facies con su interpretación sedimentológica.

II.1.3.3. Difracción de rayos X.

Se llevó a cabo el análisis de difracción de rayos X en roca total y en la fracción fina, en muestras de rocas seleccionadas de los perfiles sedimentológicos. El equipo que se utilizó fue un PANalytical, modelo X'Pert PRO, de óptica prealineada de alta resolución y tubo de rayos X metal-cerámico con ánodo de Cu. Equipo con el que cuenta el Centro de Investigaciones Geológicas de La Plata (CIG). Este tipo de análisis permite identificar la composición mineral de las rocas analizadas, mediante la lectura de los difractogramas obtenidos de los análisis de roca total (RT) y muestras orientadas de arcillas (FA).

El procesamiento de las muestras se basa en el análisis de muestras en polvo, obtenidas por molienda en mortero de cerámica, en roca total y de muestras orientadas a partir de la decantación del material de la fracción menor a 4µm mediante la ley de Stokes y por el método de pipeteo. De estas últimas se obtuvieron muestras glicoladas por exposición de los preparados a vapores de

etilenglicol durante 24 horas y muestras calcinadas por calentamiento de los preparados a 500 °C durante dos horas.

La determinación de FA además de la caracterización composicional de las arcillas, permitió establecer otras propiedades como la cristalinidad de las mismas para inferir su origen.

La cuantificación de los minerales intervinientes en cada muestra, tanto en RT como en FA tiene dos pasos, primero la determinación de cada especie mineral a partir de la lectura de los picos producto de las refracciones de los rayos X. El segundo es la ponderación (semicuantitativa) de la participación de cada mineral.

Con respecto a la semicuantificación se realizó por separado la roca total y la fracción arcilla. De este modo para la roca total se considera la altura del pico principal de cada mineral, que indica la intensidad de la refracción.

En las muestras con illita se estimó el índice de Kubler medido a partir de muestras secadas al aire o naturales. Los valores de KI fueron calibrados según los estándares de índice de cristalinidad (CIS) usando el procedimiento y las normas de [Warr y Rice \(1994\)](#). La cristalinidad illita se determinó mediante la medición del ancho de pico de 10 Å, en el preparado orientado de la fracción <4µm ([Kubler, 1966](#)), y se expresa en grados 2θ. También se procedió a la caracterización de los interestratificados illita/esmectita (I/S). Se cuantificó la cantidad de capas expansivas siguiendo la metodología de [Moore y Reynolds \(1989\)](#), la cual se basa en el uso de los picos 002 y 003 del I/S en la muestra glicolada.

Posteriormente se realizó el procesamiento digital de los resultados mediante el programa de tratamiento de datos (Origin®) realizando un diagrama para la roca total y otro para la fracción arcilla que comprende la lectura de la natural, glicolada y calcinada.

II.1.3.3.1 Análisis cualitativo

Para la identificación de las diferentes especies minerales se identifican los picos del difractograma, que están expresados en unidades de ángulo 2 θ, siendo θ el ángulo de refracción, el cual mediante fórmulas matemáticas se convierte en espaciado (en Å) de los planos generadores de las refracciones según la Ley de Bragg ([Brindley, 1961](#); [Brown, 1980](#)). Cada uno de los picos corresponde a especies minerales únicas de acuerdo con patrones estándar ya establecidos.

II.1.3.3.2 Análisis semicuantitativo

Una de las herramientas más importante de este método es la que permite realizar una estimación de las proporciones de los componentes minerales partir de los difractogramas obtenidos. Se establecieron seis categorías para estimar proporciones a saber:

1. Traza (**Tr**): minerales presentes en cantidades < al 1%.
2. Muy escaso (**Me**): minerales presentes con cantidades entre 1 y 5%.
3. Escaso (**E**): minerales presentes con cantidades entre 5 y 15%.
4. Moderado (**M**): minerales presentes con cantidades entre 15 y 25%.
5. Abundante (**A**): minerales presentes con cantidades entre 25 y 50%.
6. Muy abundante (**Ma**): minerales presentes con cantidades mayores al 50%.

Para la fracción fina se calcula su proporción sobre la base del cálculo de las aéreas definidas por los picos de máxima intensidad en la muestra natural. Teniendo presente que el tipo de sedimentación depende de la forma de las partículas, las relaciones entre el área definida por los picos de máxima abundancia no es directa, por lo que cada especie tiene una relación particular, en el caso de la illita (10 Å) para el pico 001 se toma como unidad entera, para el pico 002 de la clorita (7 Å) se debe dividir por dos. Se debe tener en cuenta que el pico de máxima intensidad de la caolinita y la cara 002 de la clorita se ubican en 7 Å (Lluch y Spalletti, 1976), los porcentajes relativos de estos minerales se determinan sobre las reflexiones de los picos 002 de la caolinita (3,57 Å) y 004 de la clorita (3,53 Å). La cuantificación relativa de las capas de los interestratificados illita/esmectita se calculó a partir de las reflexiones situadas entre 10 y 14 Å.

II.1.3.3.3 Índices de cristalinidad (illita y clorita) e Índice de Esquelvin.

El índice de cristalinidad de la Illita permiten diferenciar rocas que han sido sometidas a condiciones diagenéticas, ($IC > 0,42$), de aquéllas que han alcanzado un bajo grado de metamorfismo ($IC < 0,42$) (Kubler, 1967). El límite entre la anquizona y la epizona está dado por un valor de $IC=0,25$ (Kubler, 1967). Con el fin de obtener datos adicionales que reflejen el grado metamórfico de las rocas se calculo el ChC. Existe una concordancia entre los valores de IC y ChC, aunque en algunos casos el ChC puede ser mayor, lo que indica, por tanto, un grado inferior de metamorfismo aparente en comparación con IC (Árkai, 1991 y Suchy, 2007).

Para calcular el índice de la illita se mide el ancho 2θ en la mitad de la altura del pico mayor 15 \AA (001), con una base establecida como radiación de fondo (Lee y Ko, 1997) y en el caso de la clorita se mide de la misma manera, teniendo en cuenta que el pico de 7 \AA (002).

El Índice de Esquelvin (IE) se determina mediante la relación de altura entre las reflexiones (002) y (001) de la illita. Este valor de IE está en función del carácter ferromagnesiano o aluminoso de la illita. Si la relación I_{002}/I_{001} es menor a 0,25 la illita es ferromagnesiana, mientras que si ese valor es mayor a 0,40 la misma es aluminosa.

II.1.3.4. Petrografía.

Se realizó la descripción detallada de un total de 30 láminas delgadas de las fracciones limosas, arenosas y margosas, con el fin de hacer una descripción de los componentes principales (cristaloclastos, litoclastos, matriz y cementos) y la relación entre ellos. Para llevar adelante esta tarea se utilizó un microscopio binocular NIKON modelo Eclipse E200POL, del Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). Unas 10 láminas, de material fino, fueron analizadas mediante técnicas no convencionales como ser microscopía electrónica de barrido con sonda química (EDAX), realizados en la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata, Departamento de Mecánica LIMF.

Un procedimiento simple y estadístico, para determinar la composición de las plagioclasas, es utilizando el método de Michel – Lévy que consiste en obtener el máximo ángulo de extinción de la macla de Albita. El promedio de los ángulos de extinción izquierda y derecha, se lleva a la gráfica de Michel-Lévy obteniéndose así la composición de la plagioclasea.

II.1.3.5. Análisis geoquímicos.

II.1.3.5.1. Análisis ICP de masas

Se realizaron análisis geoquímicos de un total de 29 muestras de todas las unidades que se ubican por encima del Grupo Sierras Bayas. Para poder realizar los análisis se molieron las muestras en mortero de cerámica, (30 gr) y se las tamizó en malla 200 (75 micrones).

Los análisis fueron llevados a cabo por la empresa ALS Laboratory Group (Geochemistry Mendoza), con laboratorios en Canadá.

II.1.3.5.3. Análisis de materia Orgánica (TOC)

Se realizaron análisis de cuantificación del contenido de Carbono Orgánico Total (TOC), con equipo Leco, para 12 muestras realizadas por la empresa Geolab Sur SRL, bajo la dirección del Lic. Héctor Villar. El tratamiento previo de las muestras fue molerlas a tamaño polvo impalpable en un mortero de cerámica. Todos los resultados de los análisis geoquímicos, son presentados a modo de tabla y de gráficos discriminados con finalidades específicas para cada caso.

II.1.3.7. Análisis Palinológico.

Las muestras seleccionadas fueron aquellas pelitas de grano muy fino, (arcilitas y lutitas), de colores oscuros. Primero se las somete a un tratamiento físico de lavado, secado, molienda y pesaje. Posteriormente se las sometió a maceración ácida con HCl y HF, paso que se describe brevemente a continuación:

1º) Se colocan las muestras en vasos de vidrio rotulados con un número de laboratorio, se embeben en HCl al 37% en frío para disolver carbonatos, si reacciona, se retira el HCl con pipeteo muy despacio y se le agrega agua destilada fría (lavado) se deja pasar 30' para luego lavar la muestra con agua, este procedimiento se repite 3 veces. Si no se produce una reacción química: se lava la muestra 3 veces más con agua fría.

2º) Lavadas las muestras se pasan a vasos de plástico y se les agrega el HF para disolver silicatos (lentamente ya que la reacción es instantánea). Se deja actuar unas 24hs, bajo campana ya que los gases son muy corrosivos. Figura II.4 (A)

3º) Pasadas las 24 hs, se lava nuevamente la muestra 3 veces esperando 30' cada vez, para asegurarse un óptimo lavado.

4º) Una vez que los ácidos han sido removidos, hay que romper los fluoruros, para ello se pasa la muestra a vasos de vidrio de nuevo, se los coloca sobre una plancha y se les agrega HCl que se va a calentar durante unos 5'a 10'.

5º) Se lleva a cabo el filtrado del residuo final, del cual se va a obtener la muestra que será utilizada para realizar los preparados palinológicos.

6º) Preparados palinológicos y observación aplicando técnicas de trans y epi-iluminación bajo microscopio polarizador.

Todos los análisis se realizaron en dos laboratorios, en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias (Montevideo) bajo la dirección de Dr. Caudio Gaucher y en el Instituto Argentino

de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLIA) bajo la dirección de la Dra. Susana de la Puente, (Cricyt, Mendoza). La **Figura II.4** ilustra los pasos descritos en el párrafo anterior.

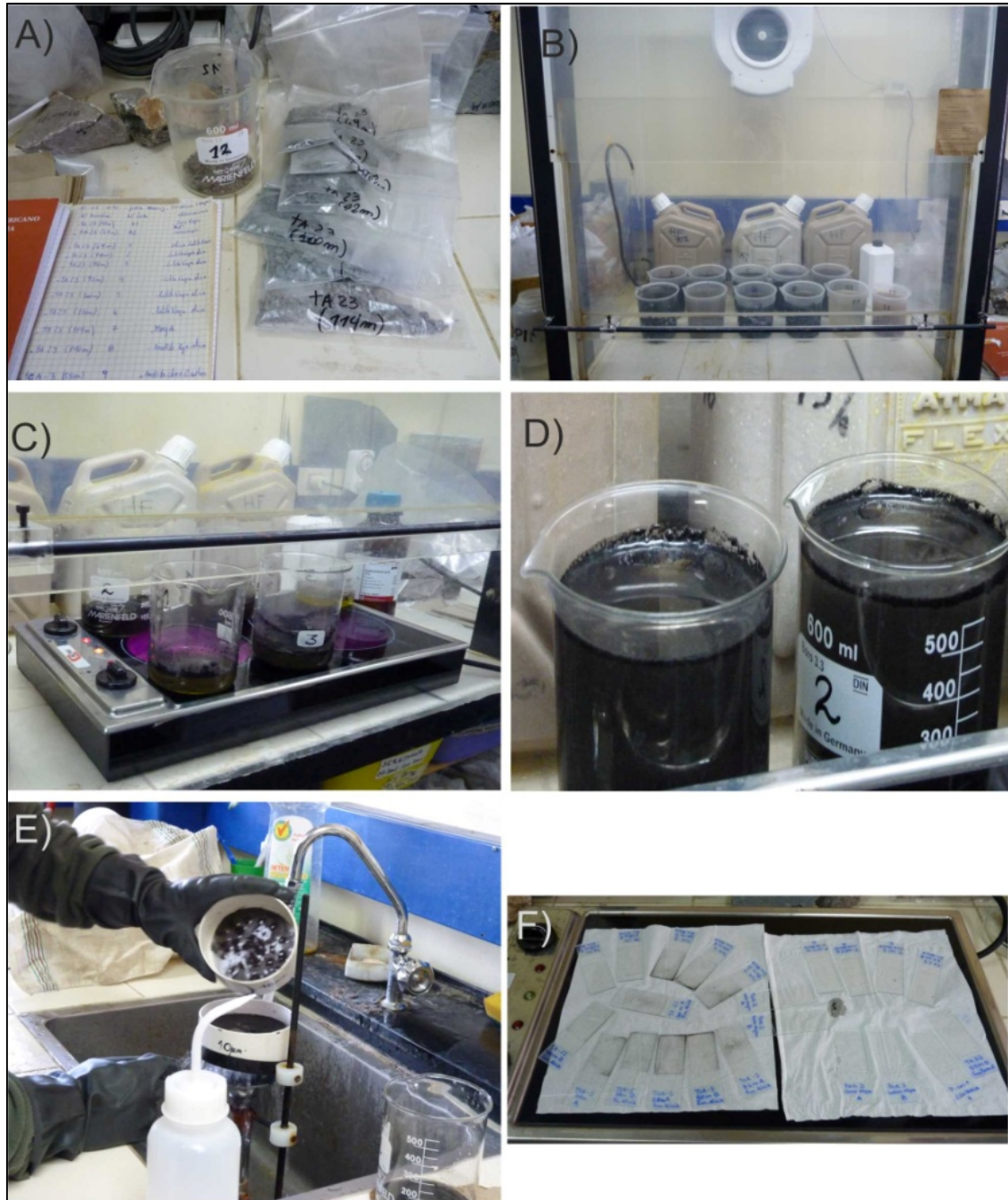


Figura II.4. Procedimiento para el análisis palinológico, Facultad de Ciencias Universidad de la Republica, Montevideo. A) Selección de las muestras, B) y C) Ataque con ácidos (HCl y HF) en frío y en caliente, D) Muestras en reposo, E) Filtrado, F) Preparados palinológicos.

CAPÍTULO III

III.1. Descripción de los perfiles relevados

III.1.1. Introducción

III.1.2. Secciones en frentes de canteras

III.1.2.1 Perfiles sedimentológicos - Cantera Cerro Negro

III.1.2.2 Perfiles sedimentológicos - Cantera El Polvorín

III.1.2.3 Perfiles sedimentológicos - Cantera C.A.S.A

III.1.3. Secciones relevadas en testigos verticales de perforación

III.1.3.1 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento Alicia

III.1.3.2 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento La Cabañita

III.2. Análisis de facies

III.3 Interpretación de facies

III.4 Conclusiones preliminares

Capítulo III

(Perfiles sedimentológicos – Facies sedimentarias)

III. 1. Descripción de los perfiles relevados

III.1.1. Introducción

Se relevaron catorce perfiles de detalle, todos en una escala 1:50. Los mismos fueron realizados sobre frentes de canteras y en testigos de perforaciones verticales, cada uno de los cuales fue posicionado geográficamente utilizando GPS.

Estos perfiles se distribuyen de la siguiente manera:

- Relevamientos en frentes de cantera:
 - Un perfil en Cantera Cerro Negro (37° 0' 13.4" S / 60° 11' 19" O).
 - Un perfil en Cantera El Polvorín (36° 58' 12.5" S / 60° 13' 43" O)
 - Un perfil en Cantera San Jacinto (36° 59' 13.1" S / 60° 14' 17" O)
- Relevamientos en testigos de perforaciones verticales:
 - Siete perfiles en el Yacimiento Alicia (37° 1' 28.3" S / 60° 19' 60" O)
 - Tres perfiles en el Yacimiento La Cabañita (36° 59' 24.5" S / 60° 13' 25.5" O)

III.1.2. Secciones en frentes de canteras

En las secciones relevadas de los diferentes frentes de canteras ([Figura III.1](#)), se reconocen todas las litologías previamente definidas para la Formación Cerro Negro por [Barrio *et al.* \(1991\)](#). Sin embargo, en ninguna de las secciones relevadas en los afloramientos de cantera, se encuentran expuestas las facies que se detallarán en la descripción de los testigos de perforación, las cuales motivaron la realización de este trabajo de tesis.

Cabe destacar que el perfil tipo, donde la unidad Cerro Negro fue definida y descrita por [Iñiguez y Zalba \(1974\)](#), está ubicado en la cantera homónima.

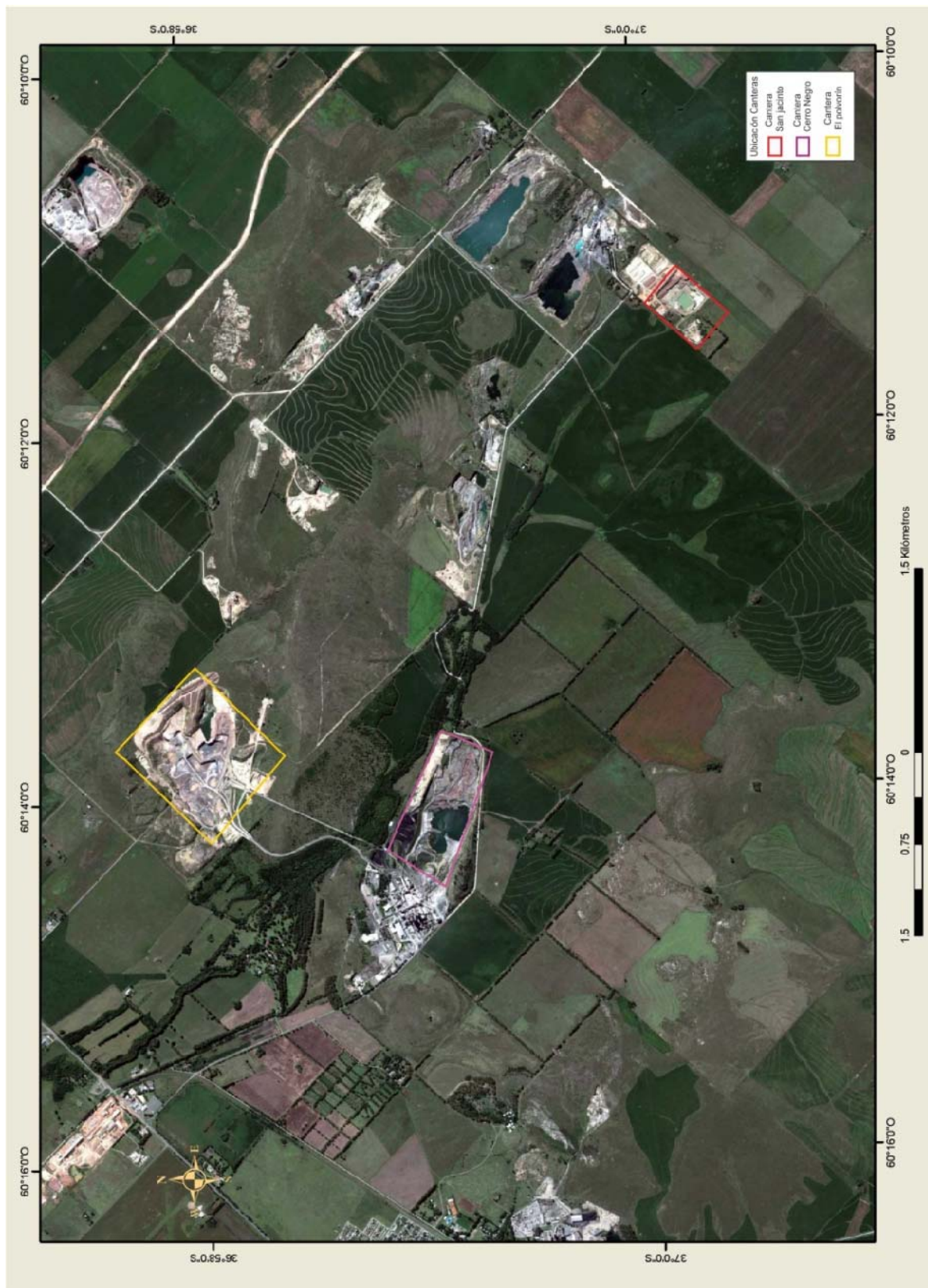


Figura III.1: Mapa ubicación canteras Cerro Negro (recuadro Rojo), El Polvorín (recuadro Amarillo) Y C.A.S.A. (recuadro Violeta).

III.1.2.1 Perfil sedimentológico - Cantera Cerro Negro

En la cantera Cerro Negro se relevó un perfil de 29 metros de espesor (Figura III.2 A). La sucesión representada en el mismo, se corresponde con el "sistema depositacional superior" (Andreis *et al.*, 1992). En esta sucesión se reconocen rocas silicoclásticas compuestas por arcilitas, limolitas y areniscas finas a medianas, todas ellas de tonalidades rojizas, (Figura III.2 B). Las arcilitas se presentan comúnmente con una laminación fina, mientras que las limolitas se muestran con estructura masiva o laminación entrecruzada. Por otro lado, las psamitas poseen frecuentemente laminación entrecruzada sigmoidal, o en artesas. En menor medida se observa laminación monticular (Figura III.2 A y B).

III.1.2.2 Perfil sedimentológico - Cantera El Polvorín

En la cantera El Polvorín (Cementos Avellaneda S.A), se describió una sucesión de 9 metros de espesor, conformada principalmente por margas y sedimentitas silicoclásticas (areniscas finas y pelitas rojas), las cuales rellenan totalmente el relieve cárstico, como en todas las secciones del área de Sierras Bayas – Olavarría. Cabe mencionar, que no se conocen datos previos publicados de esta localidad. En la sección basal se reconocieron niveles margosos de coloración dominante rojiza a morada, estratificados a internamente masivos. Por encima se observan "facies heterolíticas" rojizas de grano fino que no superan la textura de arena media (Fig. III.3), en las cuales domina la laminación.

III.1.2.3 Perfil sedimentológico – Cantera C.A.S.A

En esta cantera, se relevó un perfil a una escala de 1:50 (Figura III.4), donde se reconocen 26 metros de sedimentitas margosas y silicoclásticas de la Formación Cerro Negro. Como ocurre en el perfil anterior, esta sección no había sido descripta previamente. En este perfil se describen margas masivas de coloraciones verdosas y rojizas en estratos delgados a medianos, sucesiones heterolíticas rojizas, con laminación planar en los finos y psamitas masivas, que eventualmente muestran laminación entrecruzada.

Perfil Cantera El Polvorín

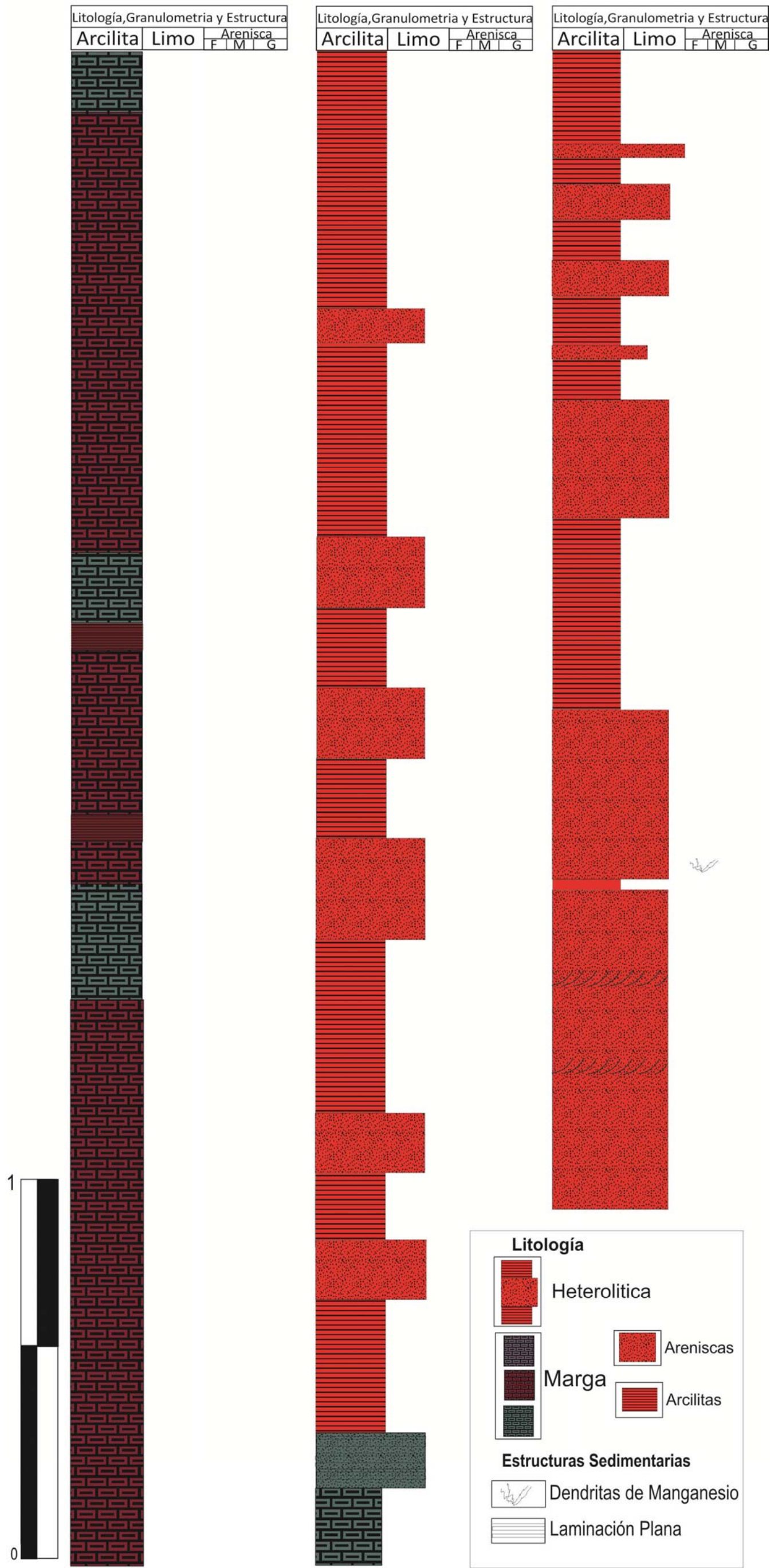
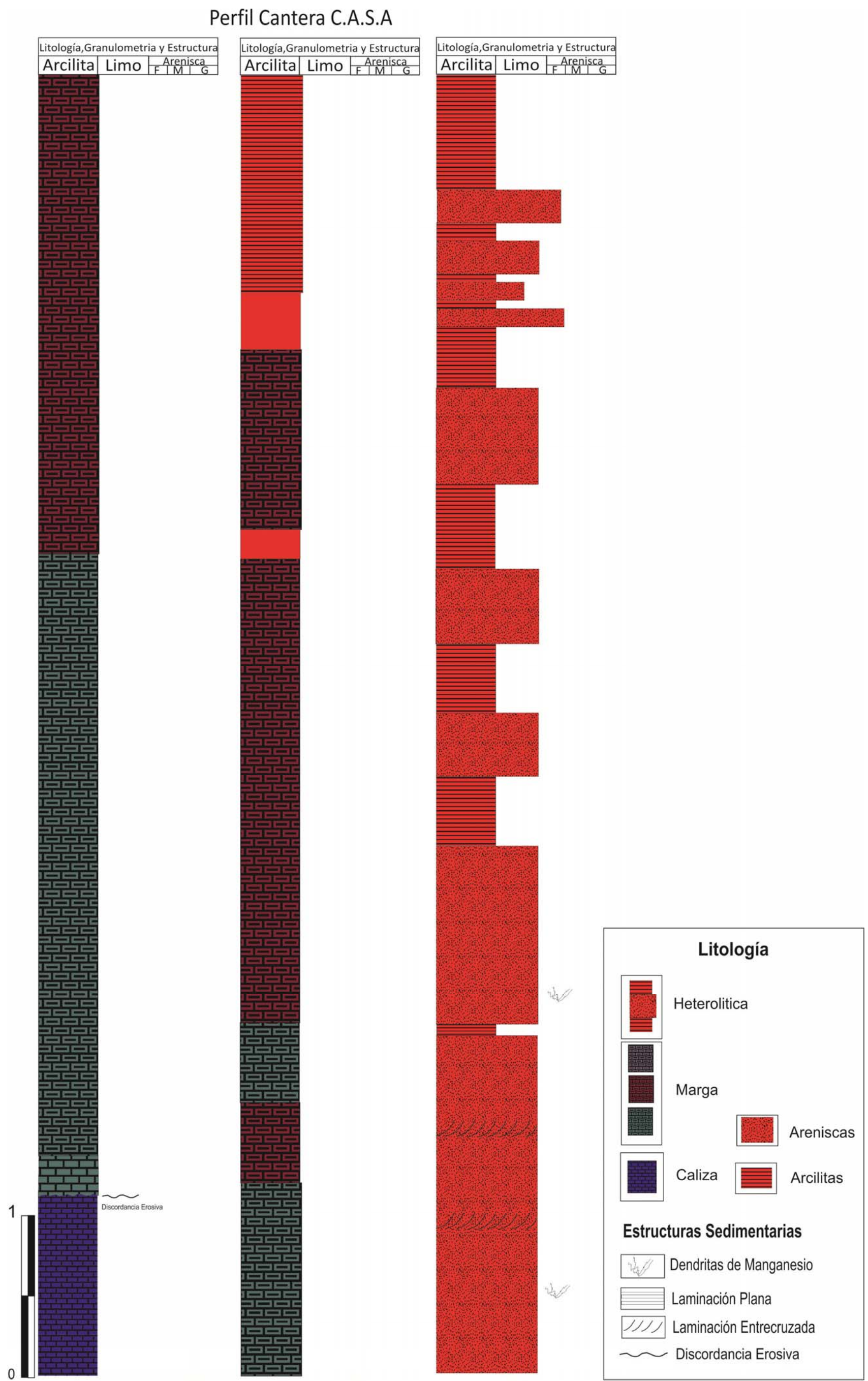


Figura III.3 Perfil sedimentológico - Cantera El Polvorín



III.1.3. Secciones relevadas en testigos verticales de perforación

Es importante señalar que las campañas de prospección en el Núcleo Austral de las Sierras, llevadas a cabo por la empresa Cementos Avellaneda S.A.; transcurrieron en lo que actualmente es el Yacimiento Alicia (dos campañas durante los años 2009-2010). Una tercera campaña, realizada en el año 2012, se llevó adelante en el Núcleo Central de las Sierras Bayas, en lo que hoy constituye la prolongación de la Cantera C.A.S.A, y que fue llamada Yacimiento La Cabañita (Figura III.5).

Durante dichas campañas se realizó una minuciosa descripción de algunos de los sondeos allí realizados. El acceso al material proveniente del subsuelo ha permitido conocer con gran detalle a las unidades que se encuentran por encima del Grupo Sierras Bayas.

A continuación se presentan las características de cada uno de los yacimientos donde se llevaron a cabo las perforaciones, la ubicación geográfica de los sondeo seleccionados y los perfiles sedimentarios dibujados a una escala 1:50. Cada uno de los perfiles está acompañado por una breve descripción sedimentológica, que más entrado en el capítulo (sección III.2) se completa con una detallada descripción de cada una de las facies reconocidas.



Figura III.5: Mapa ubicación Yacimiento Alicia (Cuadro Rojo) y Yacimiento La Cabañita (cuadro Amarillo). Los Puntos Amarillos, rojos y verdes son los sondeos que han sido efectuados en cada uno de los Yacimientos.

III.1.3.1 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento Alicia

El Yacimiento Alicia (Cementos Avellaneda S.A) cuenta con un área de 300 Ha, en el cual se realizaron un total de 51 sondeos verticales de prospección, de los cuales 30 fueron de Aire Reversa y 21 en Diamantina; de estos últimos se describieron siete testigos coronas completos, en forma detallada a escala de 1:50. Es importante señalar que el diámetro de las coronas varía de \varnothing HQ (6,35 cm) a \varnothing NQ (3,33 cm). La elección de los siete perfiles se realizó sobre la base de los siguientes criterios: profundidad alcanzada, contactos litológicos, distancia y relación lateral entre los pozos (Tabla III.1).

Tabla Sondeos - Yacimiento Alicia

Sondeo	Coordenada X	Coordenada Y	Cota Z (msnm)
TA 22	540918,755	5902808,16	188,79
TA 23	5470651,68	5902373,85	188,85
TA 27	5470656,89	5902232,56	188,73
TCA 2	5470836,67	5901793,38	189,65
TCA 3	5471375,32	5901565 ,65	190,8
TCA 5	5471660,22	5901028,12	191,2
TCA 10	5472204,55	5901614,36	193,57

Tabla III.1: Sondeos verticales descriptos para el Yacimiento Alicia y sus coordenadas geográficas.

Los perfiles sedimentológicos relevados en las secciones de subsuelo (Tabla III.1), son esquematizados y descriptos a continuación. Asimismo, la ubicación en el yacimiento se muestra en un mapa de detalle (Figura III.6).



Figura III.6: Imagen Google Earth Georeferenciada del Yacimiento Alicia con la ubicación de los pozos que fueron utilizados para realizar la descripción sedimentológica (puntos Rojos).

III.1.3.1.a) Perfil – pozo TA 22

Esta sección de 129 metros de espesor total medido (mbbp: metros bajo boca de pozo), está constituida por 6,25 metros basales de margas masivas de coloración rojizas y en menor medida verdosas, seguidas por 3,5 metros de arcilitas rojas masivas eventualmente con una laminación tenue. Por encima se describen 12,25 metros de una sucesión heterolítica de coloración verdosa, en las que las limolitas se presentan laminadas y las areniscas finas a medianas son masivas y en menor medida muestran laminación entrecruzada. En algunos niveles de areniscas se reconoce una gradación normal. (Figura III.7). A los 148,5 mbbp comienza una sucesión heterolítica similar a la subyacente, pero con un cambio notable en la coloración hacia tonalidades grises oscuras a negras. A los 141 mbbp se observa un cambio importante en la granulometría, a partir de allí se describen 71 metros de intercalaciones de arcilitas y limolitas grises oscuras a negras. Cabe destacar que en sentido ascendente se observa un marcado aumento en la proporción de arcilitas con respecto a limolitas (Figura III.7). En esta sucesión, se reconoce una fuerte laminación o fisilidad en las arcilitas, mientras que las limolitas se presentan mayormente masivas con algunos niveles con laminación entrecruzada. Asimismo, se reconocen intercalaciones esporádicas de las mismas litologías pero con tonalidades verdosas o rojizas (Figura III.7). Cabe destacar que el intervalo comprendido entre los 87 y 70, 5 mbbp está constituido casi enteramente por lutitas negras a gris oscuras.

Finalmente, los 28 metros de la sección superior están constituidos por una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas rojizas, laminadas y masivas respectivamente.

Perfil TA 22 (42m - 171m)

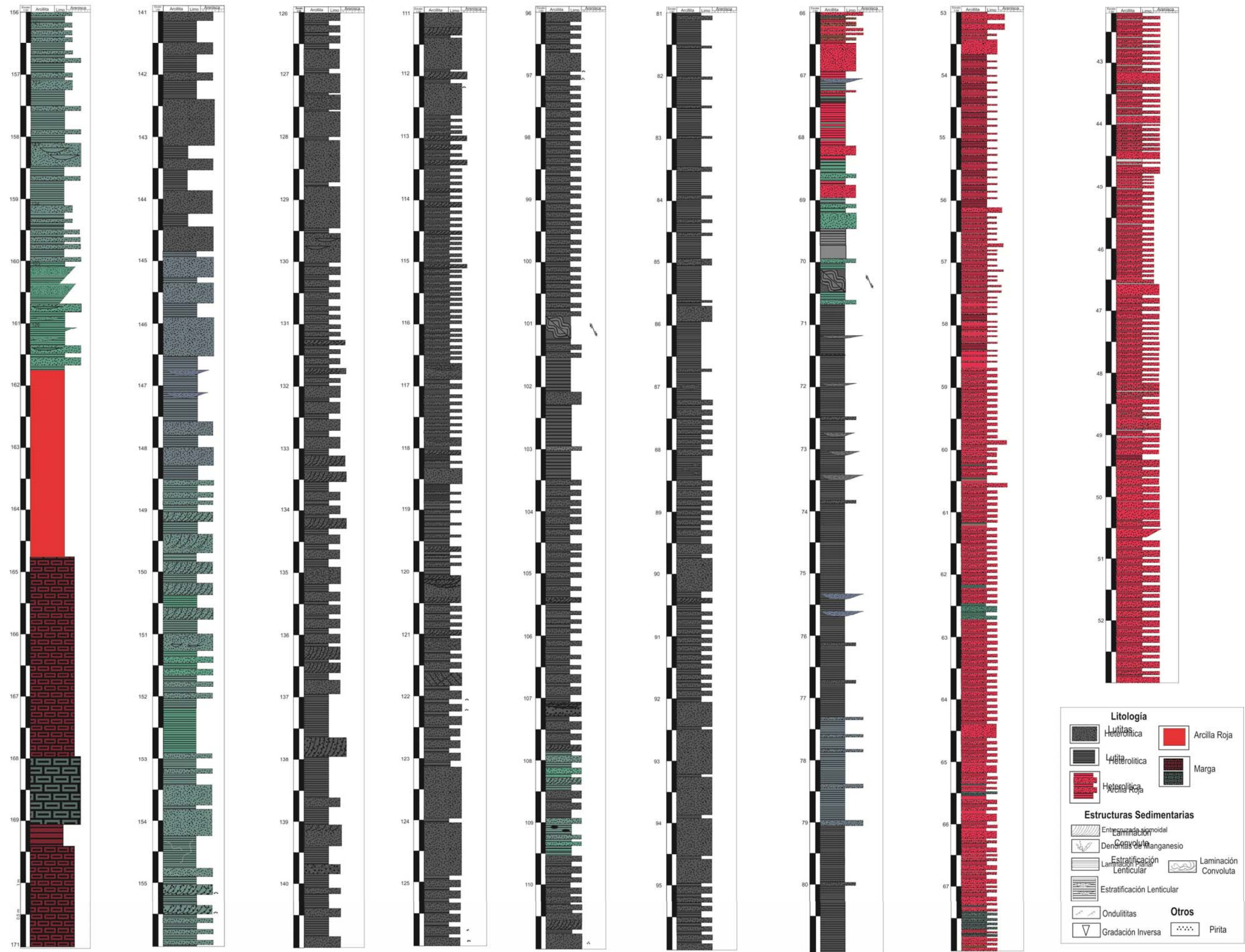


Figura III.7: Perfil TA 22 Correspondiente al Yacimiento Alicia

III.1.3.1.b) Perfil – pozo TA 23

Esta columna de 72 metros de espesor (Figura III.8) está compuesta por 8,75 metros basales de margas masivas de coloración rojizas y en menores proporciones de colores verdosas, seguidas por 6,5 metros de arcilitas rojas. Por encima se describen 4,5 metros de una sucesión heterolítica de coloración verdosa a gris, en la que las limolitas se presentan laminadas y las areniscas finas a medianas son masivas. A los 100 m bbbp se describen 33 metros de una sucesión heterolítica similar a la subyacente, pero con un cambio en la coloración y en la textura, adquiriendo tonalidades grises oscuras a negras y texturalmente las granulometrías más gruesas no superan el tamaño limo.

Finalmente, desde los 67 mbbp hasta los 48 mbbp, se describe una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas rojizas, laminadas y masivas respectivamente. Se observa una abundancia de dendritas de manganeso en los pisos y techos planos de las areniscas (Figura III.8).

III.1.3.1.c) Perfil – pozo TA 27

Esta sección de 40 m de espesor (Figura III.9) está compuesta por 0,50 m de una brecha calcárea basal (metro 73,6, Figura III.9), con clastos de caliza correspondientes a la Formación Loma Negra de tamaños psefiticos (1,6 cm a 5,7 cm) con una matriz margosa verdosa. Sobre lo descripto, se observó medio metro de margas masivas de coloración verdosa seguidas por 2 metros de arcilitas verdes a grises masivas eventualmente intercaladas por niveles que no superan los dos centímetros de arcilitas rojizas. Por encima, se describen 6,5 metros de una sucesión heterolítica de coloración verdosa a gris, en la que las limolitas se presentan laminadas y las areniscas finas a medianas son masivas y en menor medida muestran laminación entrecruzada. A los 67 mbbp comienza una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas muy finas a finas de coloraciones rojizas, laminadas y masivas respectivamente.

En algunos niveles se observa una gradación inversa en los paquetes de arenisca pasando de muy finas a medianas (Figura III.9).

Perfil TCA 03 (45m -98,5m)

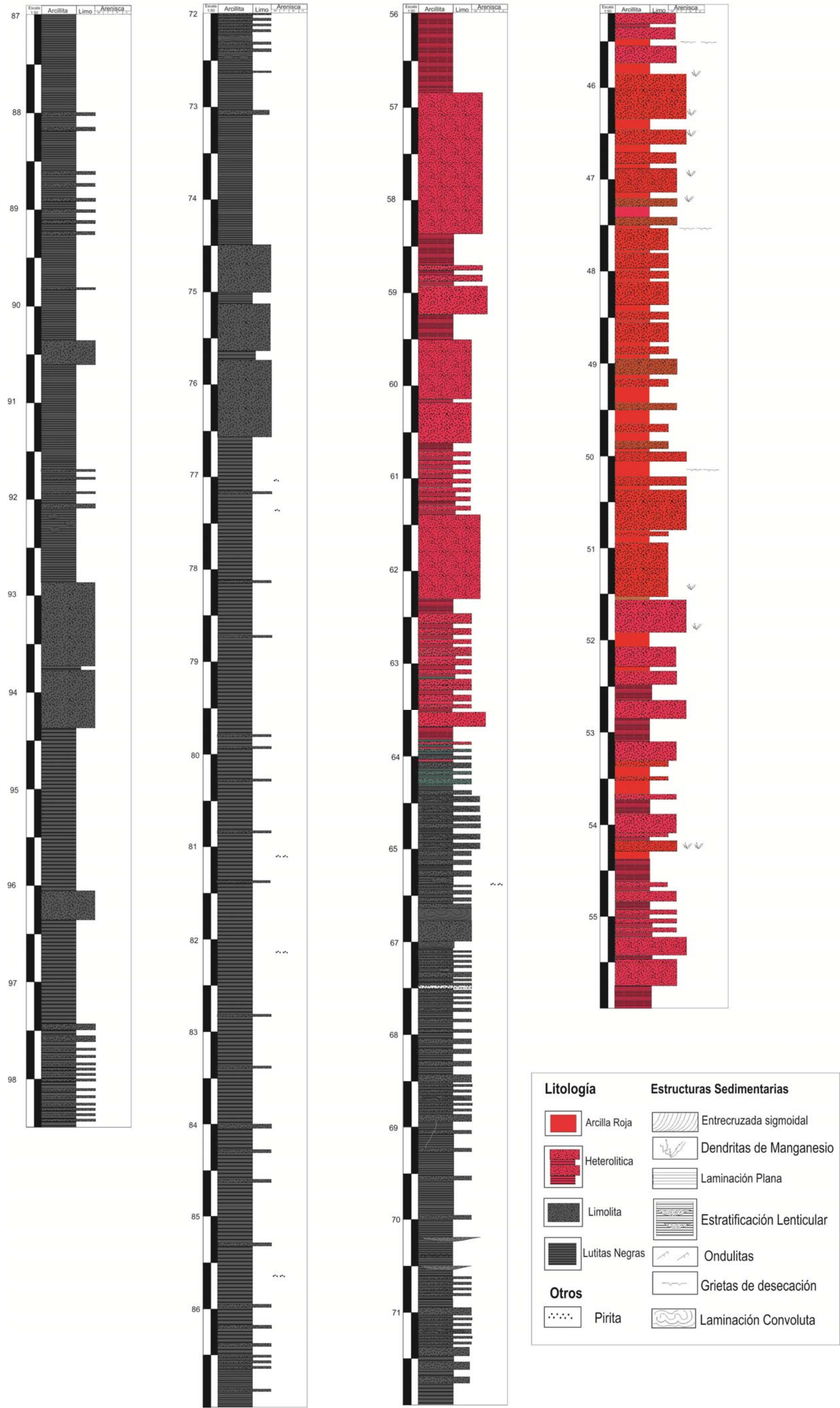


Figura III.11: Perfil TCA 3 Correspondiente al Yacimiento Alicia

Perfil TA 27 (48 - 74)

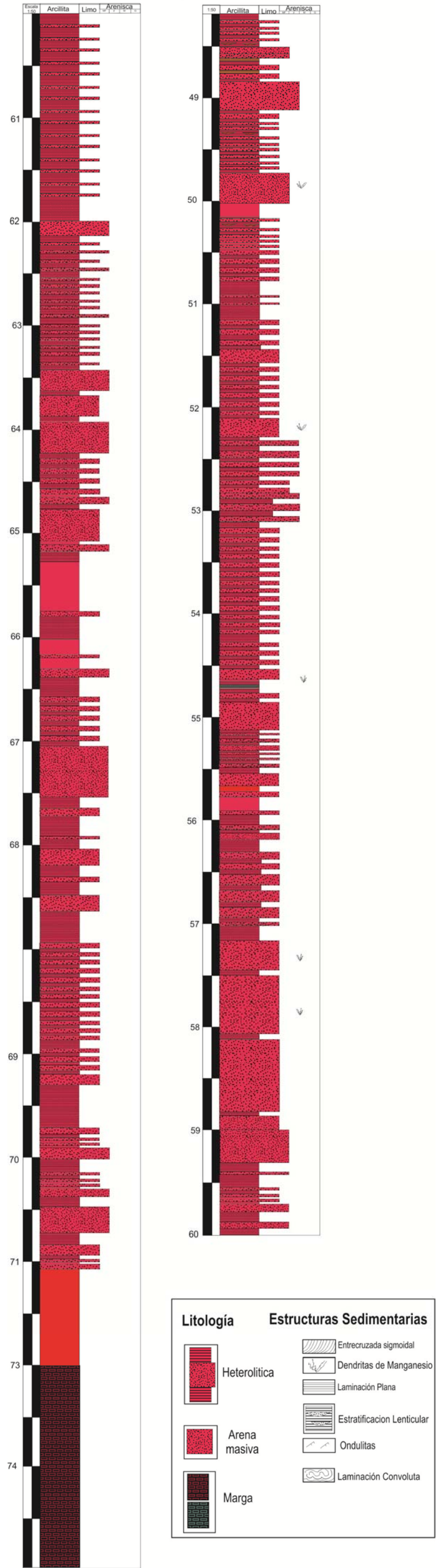


Figura III.9: Perfil TA 27 Correspondiente al Yacimiento Alicia

III.1.3.1.d) Perfil – pozo TCA 2

Este perfil presenta un espesor total medido de 60 metros y es similar a la sección descripta anteriormente en el perfil – pozo TA 27. Está constituida por 0,40 m de una brecha calcárea basal con clastos de caliza correspondientes a la Formación Loma Negra de tamaños psefiticos que van de 1 cm a 3,5 cm, envueltos en una matriz margosa de tonalidad verdosa. Inmediatamente por encima se describen 7,7 metros de margas masivas de coloración rojiza y eventualmente verdosa, seguidas por 4,5 metros de una sucesión heterolítica de coloración verdosa a gris, con arcilitas masivas a laminadas y limolitas masivas a laminadas, se describen sectores de areniscas finas masivas y en menor medida con laminación entrecruzada. A los 74,5 mbbp comienza una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas rojizas, laminadas y masivas respectivamente similar a la que se encuentra por debajo, pero con un cambio notable en la coloración pasando a tonalidades rojizas (Figura III.10).

III.1.3.1.e) Perfil – pozo TCA 3

Esta sucesión litológica tiene 53,5 metros de espesor total y está conformada de base a techo por 34 metros de intercalaciones de lutitas negras a grises y limolitas grises, en algunos casos con laminación entrecruzada y estratificación. Se observan estructura deformaciones del tipo laminación convoluta. A los 64 mbbp, comienza una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas rojizas, laminadas y masivas respectivamente, los bancos se hacen más gruesos, en algunos casos llegando al metro, se observa en las arenas finas laminación entrecruzada (Figura III.11).

Perfil TCA 2 (45m - 105m)

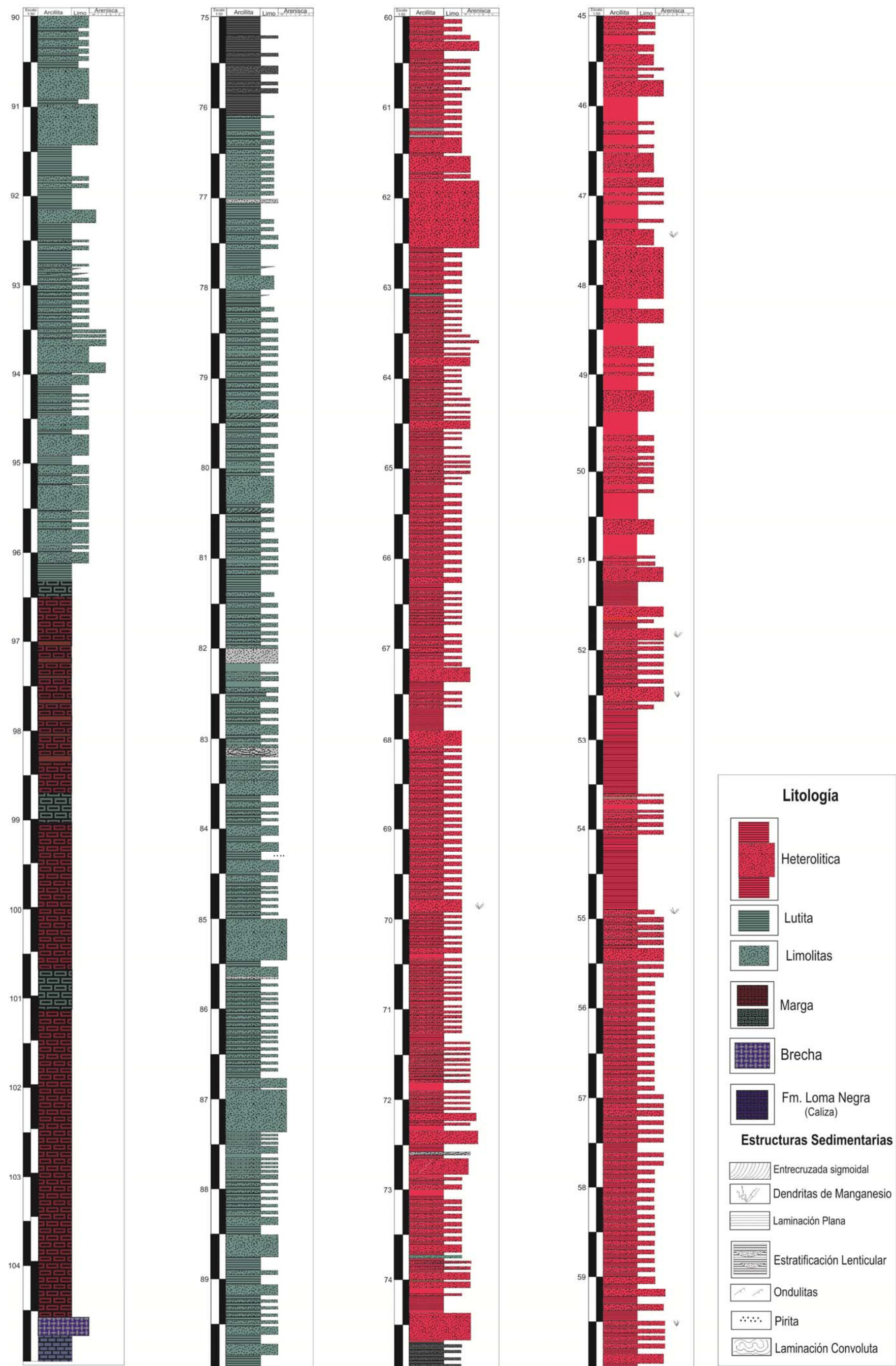


Figura III.10: Perfil TCA 2 Correspondiente al Yacimiento Alicia

Perfil TCA 3 (45m -98,5m)

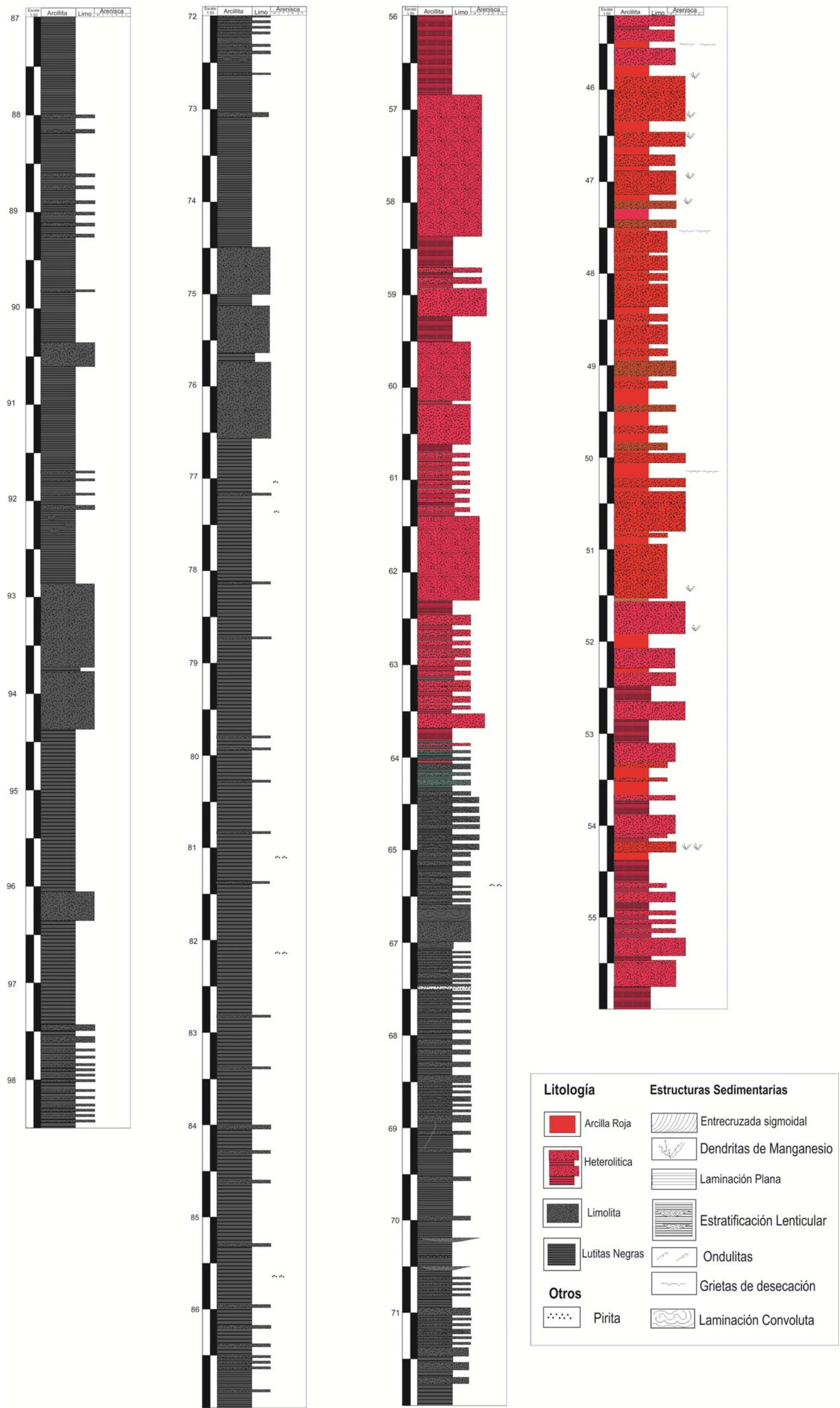


Figura III.11: Perfil TCA 3 Correspondiente al Yacimiento Alicia

III.1.3.1.f) Perfil – pozo TCA 5

Este perfil sedimentológico de 41,45 metros de espesor, está constituido en su totalidad por intercalaciones de arcilitas y limolitas grises oscuras a negras (**Figura III.12**). En esta sucesión se reconoce una fuerte laminación o fisilidad en las arcilitas con superficies serosas, mientras que las limolitas se presentan mayormente masivas con algunos niveles con laminación entrecruzada sigmoidal, en algunos casos se entre mezclan con las lutitas formando “islotos” de limos. Se reconocen intervalos de lutitas negras a grises de hasta un metro y medio (metro 93,5 al metro 92, **Figura III.12**). La presencia de pirita en forma de patinas que no superan los 2 mm, se hacen presentes en los niveles luticos negros.

III.1.3.1.g) Perfil – pozo TCA 10

Esta sección posee 187,5 metros de espesor total medido (**Figura III.13**). Está conformada por 3,5 metros basales de margas masivas, el primer metro de coloración rojiza y los 2,5 metros finales de coloración verdosa, seguida por 2,75 metros de arcilitas rojas masivas. A partir de los 225,75 mbbp y hasta 59,5 mbbp se observa una alternancia de limolitas y arcilitas negras a grises. Los niveles de limo son masivos y eventualmente presentan laminación planar y entrecruzada sigmoidal, (metro 90 al metro 89,5, **Figura III.13**). Las lutitas negras a grises se encuentran finamente laminadas, se observan estructuras deformacionales como laminación convoluta. Es importante resaltar que se llegó a identificar niveles de hasta 5 metros de 100 % de lutita negra con alta fisilidad y superficies sedosas (metro 161,5 a 156,5 **Figura III.13**). Finalmente, en el metro 59,5 por medio de un contacto neto se describe una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas rojizas.

Es en este testigo corona (perfil TCA 10) se describen la mayor cantidad de metros de limos y lutitas negras a grises, llegando a un total de 166 metros.

Perfil TCA 5 (60m -101,45m)

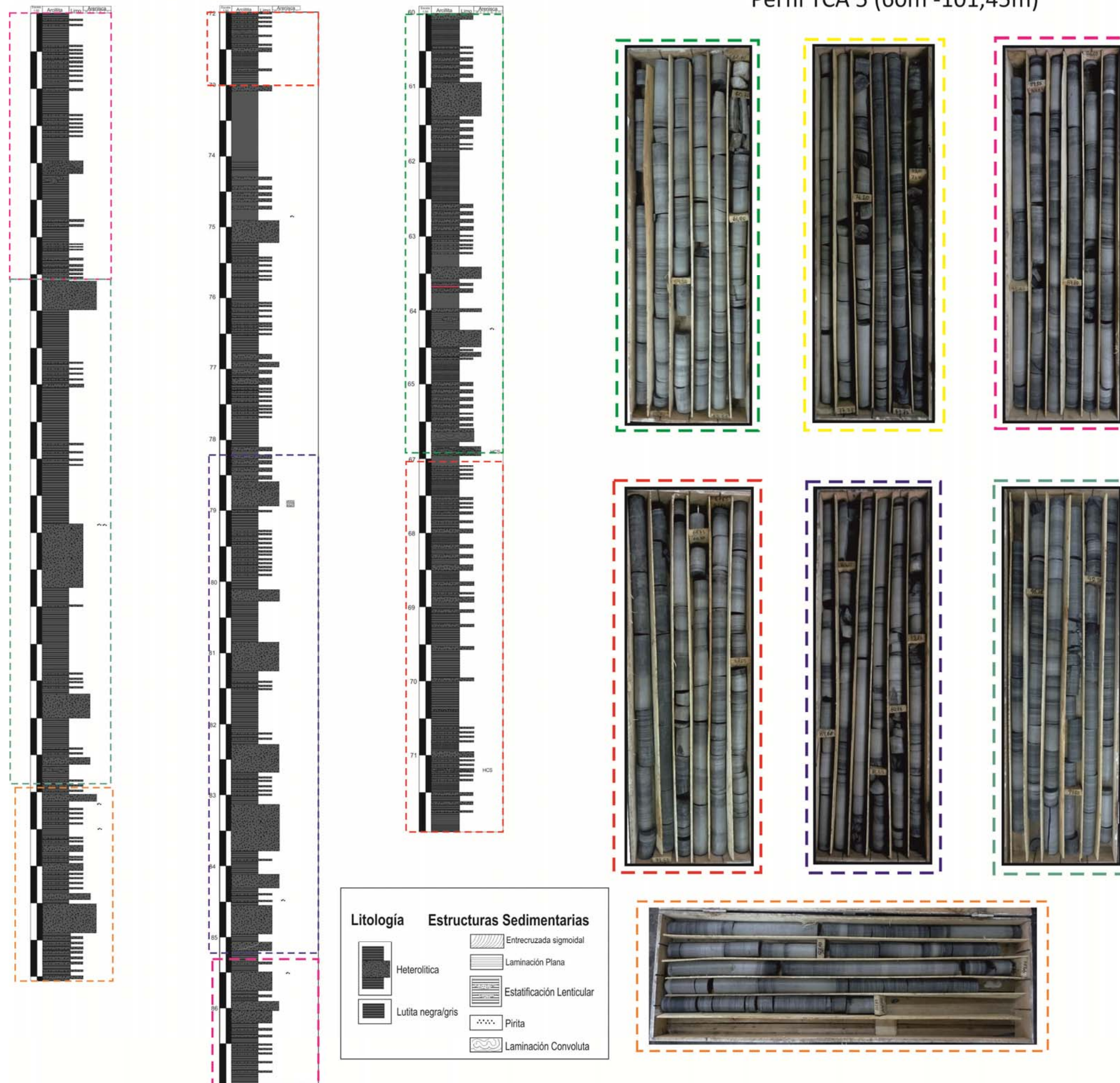


Figura III.12 TCA 5 Correspondiente al Yacimiento Alicia

Perfil TCA 10 (44,60m -231,35m)

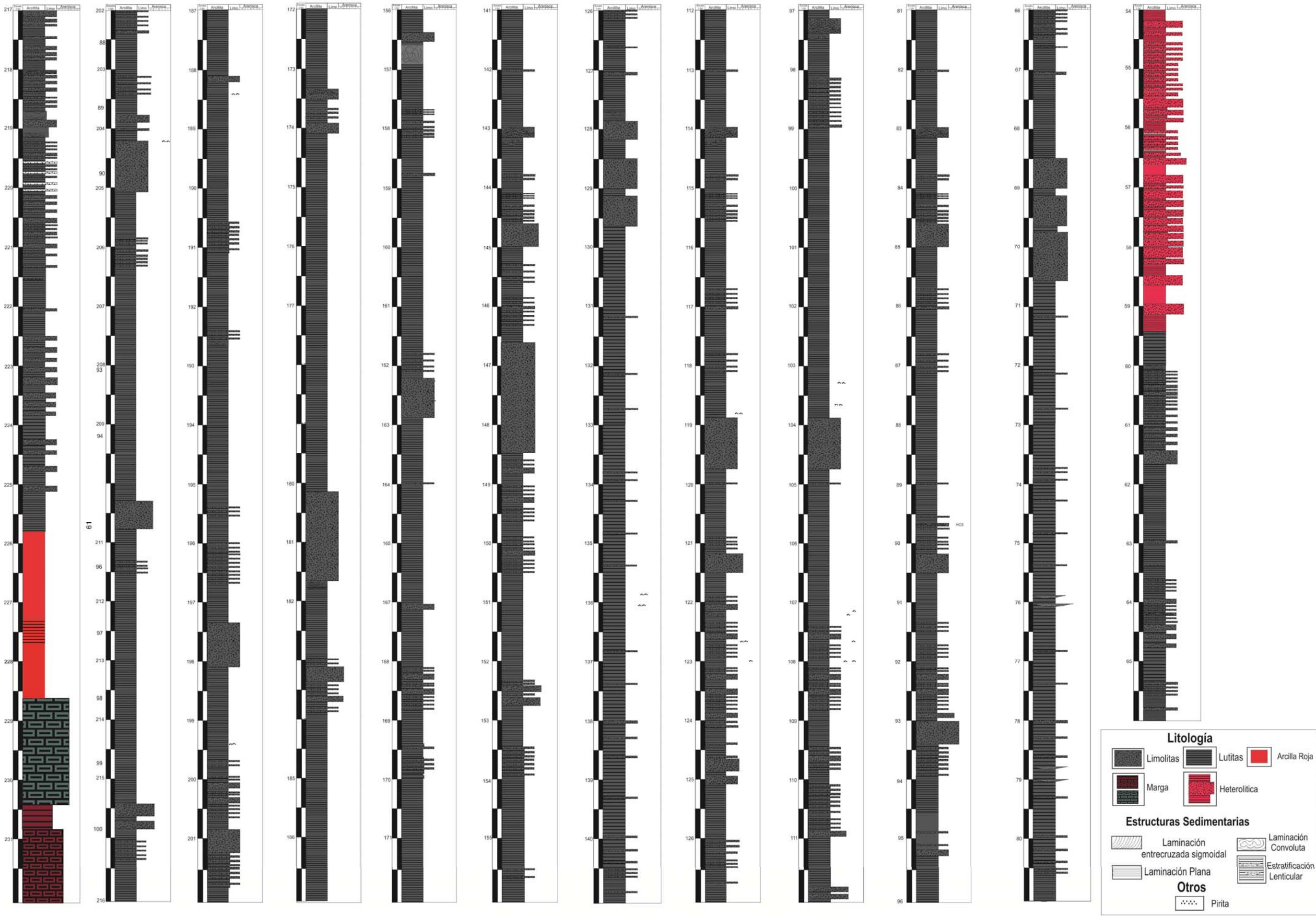


Figura III.13: Perfil TCA 10 Correspondiente al Yacimiento Alicia

III.1.3.2 Perfiles sedimentológicos - Yacimiento La Cabañita

El yacimiento La Cabañita, Cementos Avellaneda S.A, está representado por un área de 450 Ha, ubicada en el núcleo Central de las Sierras Bayas. En esta zona se realizaron un total de 74 sondeos verticales, de los cuales se seleccionaron los cuatro más representativos por ser de interés para el objetivo de este trabajo de tesis.

Los sondeos se perforaron con coronas de diamantina en diámetro HQ (6,35 cm), lo que permitió una mejor calidad de observación que la provista por los testigos del Yacimiento Alicia (3,33 cm de diámetro). Es importante aclarar que, si bien la metodología recomendada para hacer una descripción mesoscópica es seccionar los testigos en dos mitades, esta técnica se pudo implementar en una muy baja proporción de los testigos recuperados, debido a que la mayoría de los tipos litológicos muestran una estructura laminar muy marcada y continua, que conlleva a la destrucción total del testigo.

Se describieron en detalle 4 (cuatro) testigos coronas a escala de 1:50 (Tabla III.2).

Sondeo	Coordenada X	Coordenada Y	Cota (msnm) Z
TDH 21	5481388,41	5905927,99	215
TSE 34	5480297,25	5906427,31	215,28
TDH 11	5481024,69	5906094,40	220,33
TDH 26	5481653,50	5906026,57	216,3

Tabla III.2: Sondeos verticales descriptos para el Yacimiento la Cabañita y sus coordenadas geográficas.

Los perfiles sedimentológicos relevados en las secciones de subsuelo (Tabla III.2), son esquematizados y descriptos a continuación. Asimismo, la ubicación en el yacimiento se muestra en un mapa de detalle (Figura III.14).

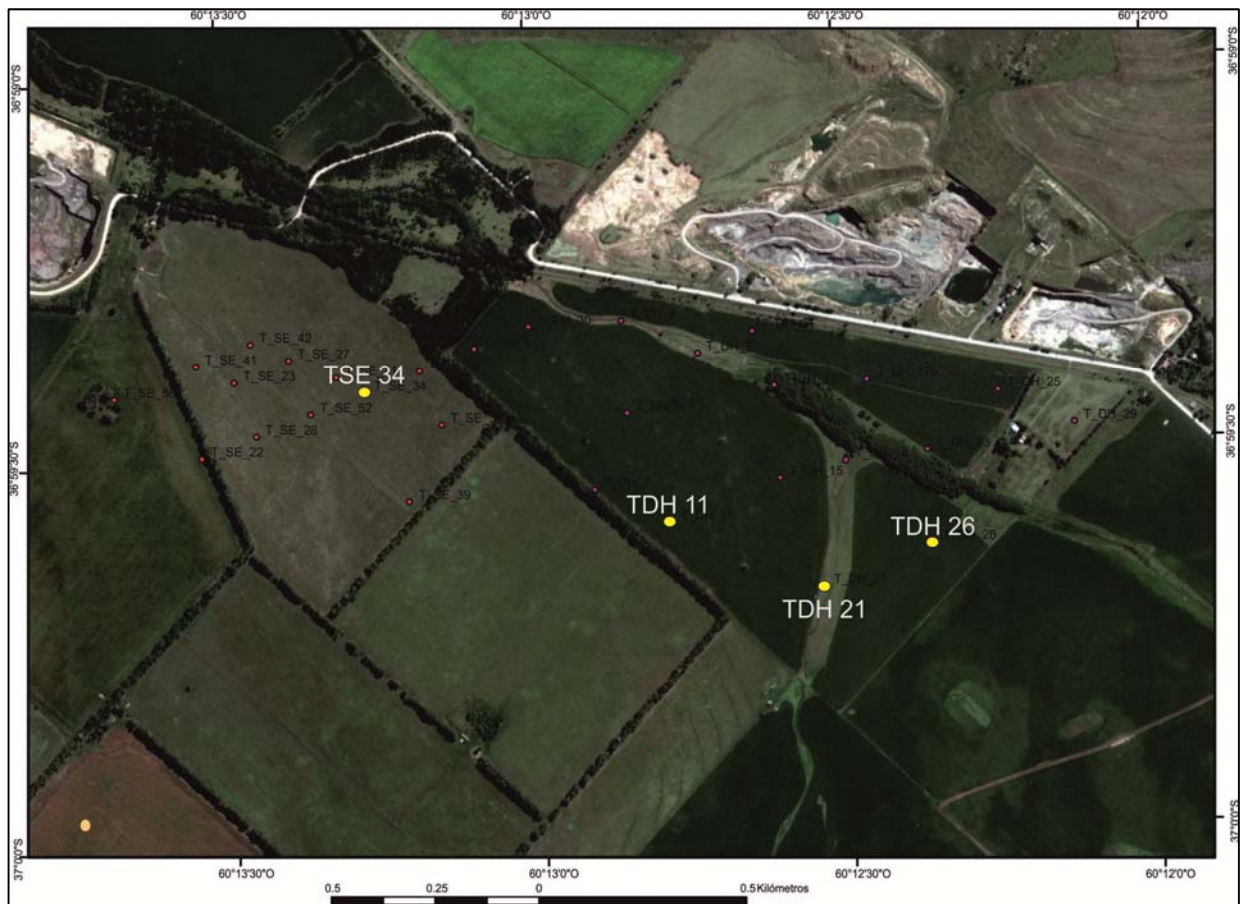


Figura III.14: Imagen Google Earth Georeferenciada del Yacimiento La Cabañita con la ubicación de los pozos que fueron utilizados para realizar la descripción sedimentológica (Puntos amarillos).

III.1.3.2.a) Perfil – pozo TDH 21

Esta sección posee 133 metros de espesor total y se puede observar en la [Figura III.15](#). Está conformada por 6,75 metros basales de margas masivas, cuyos primeros 4 metros de coloración verdosa, y los 2,75 metros finales de coloración rojiza, se continúa con 7,25 metros de arcilitas rojas masivas con niveles que presentan una laminación tenue. Por encima, a partir de los 122 mbbp se describen 105 metros de una sección limo-arcilla negra a gris masiva, donde las limolitas son masivas y ocasionalmente presentan laminación planar y entrecruzada sigmoidal. Las arcilitas son de coloraciones negras a grises con alta fisilidad y superficies sedosas (lutitas negras) desde los 82,5 a los 84 mbbp. Las lutitas negras/grises llegan a conformar niveles de hasta 6 metros (metro 115,6 al metro 109 [Figura III.15](#)) y los limos masivos niveles de hasta un metro (metro 57 al metro 56 [Figura III.15](#)).

Finalmente, los últimos 2,5 metros de la sección superior están constituidos por una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas verdosas, laminadas y masivas respectivamente.

III.1.3.2.b) Perfil – pozo TSE 34

Esta columna representada por de 70 metros de espesor total medido, está compuesta por 8 metros basales de margas masivas de coloración rojiza. Por encima y mediante un contacto neto, se describen 41 metros de limolitas negras a grises masivas a eventualmente laminadas y arcilitas negras a grises con alta fisilidad y superficies sedosas (lutitas negras). Del mismo modo que se describió en los dos perfiles anteriores, se observan niveles heterolíticos (metro 60 al metro 59, [figura III.16](#)), como niveles de hasta 5 metros de lutita negra/grises (metro 56 al metro 52 [Figura III.16](#)) y niveles de limo masivos que llegan a los 0,75 m (metro 46,5 [Figura III.16](#)).

Por último, se observan 23 metros de una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas de coloraciones rojizas (en menor medida verdosas) laminada y masiva respectivamente.

Perfil TDH-21 (13,35 m - 146,35m)



Figura III.15: Perfil TDH 21 Correspondiente al Yacimiento la Cabañita.

Perfil T SE 34 (14m - 84m)

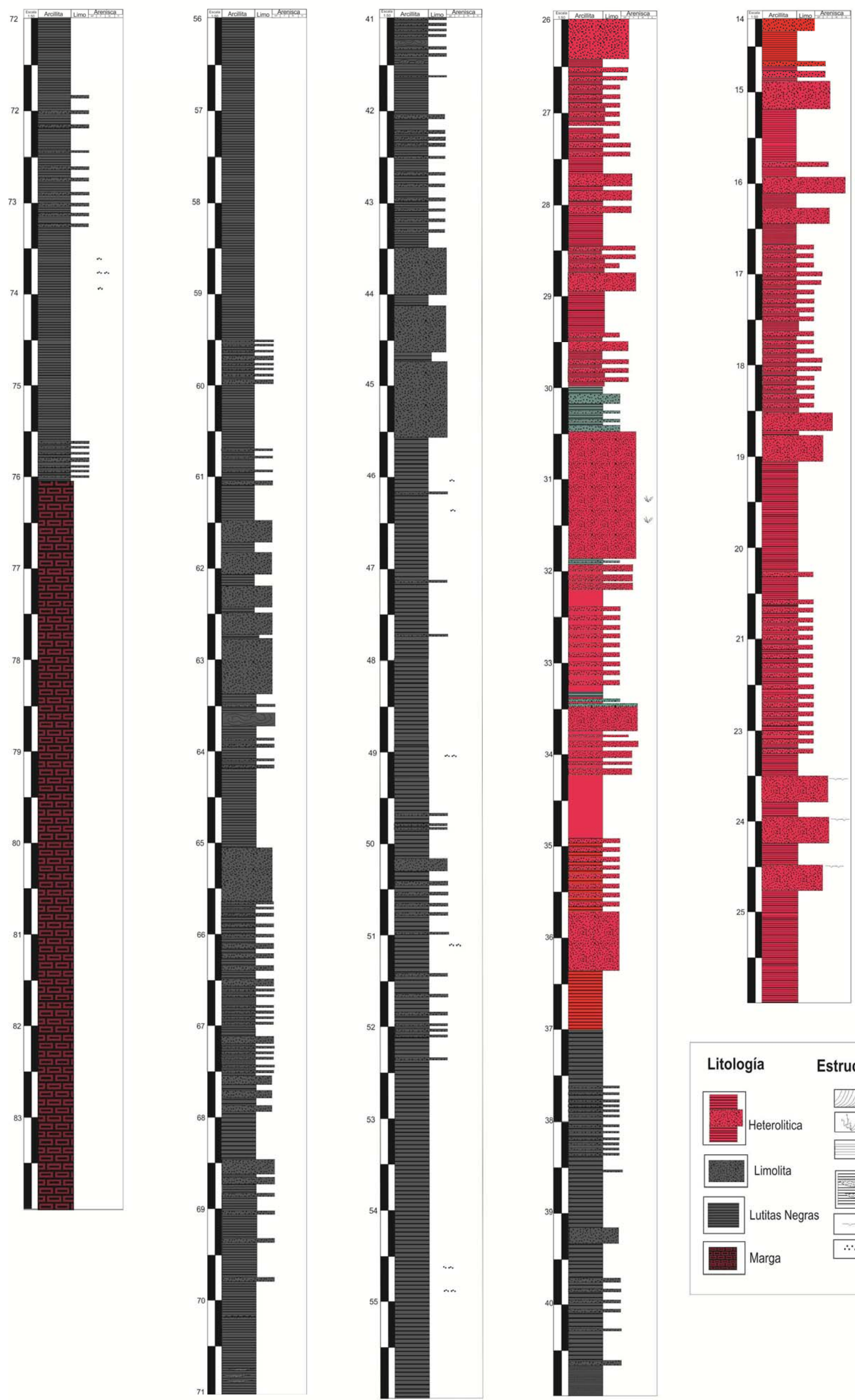


Figura III.16: Perfil TSE 34 Correspondiente al Yacimiento la Cabañita

III.1.3.2.C) Perfil – pozo TDH 11

Este perfil de 101 metros de espesor total, está constituido por 1,5 metros basales de margas masivas de coloración rojiza, seguidas por 0,57 metros de arcilitas rojas masivas. Por encima, se describen 84,5 metros de limolitas negras a grises masivas a eventualmente laminadas. Por sectores, se llega a observar laminación entrecruzada sigmoidal y ocasionalmente de tipo monticular. Las arcilitas negras a grises poseen una alta fisilidad y superficies sedosas (lutitas negras), en algunos casos se observan estructuras de deformación como laminación convoluta. A lo largo del perfil se registran niveles heterolíticos (metro 85,5 al metro 83 **Figura III.17**), niveles de hasta 7,5 metros de lutitas negras a grises (metro 112 al metro 105, **Figura III.17**) y niveles de limolitas masivas que llegan a los 2,5 metros (metro 71 al metro 68,5 **figura III.17**).

Los niveles más altos corresponden a 3 metros de una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas, de coloración verdosa, en las que las limolitas se presentan laminadas y las areniscas finas a medianas son masivas y en menor medida muestran laminación entrecruzada.

III.1.3.2.d) Perfil – pozo TDH 26

Esta sección de 72 metros de espesor está constituida por 2,75 metros basales de margas masivas de coloración rojiza, seguidas por 6,5 metros de arcilitas rojas masivas a eventualmente con laminación planar. Por encima se describen 39,5 metros de limolitas negras a grises masivas a eventualmente laminadas y arcilitas negras a grises con alta fisilidad y superficies sedosas (lutitas negras). A lo largo de la sección, se observan niveles heterolíticos de hasta dos metros de espesor (metro 68 al metro 66 **Figura III.18**). Los espesores de los niveles de lutitas negras a grises llegan hasta los 3 metros (metro 53 al metro 50 **Figura III.18**) y hasta 1 metro para el caso de los limos masivos (metro 63 al metro 62 **Figura III.18**). Por último, se describieron 23 metros de una sucesión heterolítica de arcilitas y areniscas finas a medianas rojizas, con un intervalo en los metros 33,5 - 28,5 de coloración verdosa.

Perfil T DH-11 (20m - 121m)

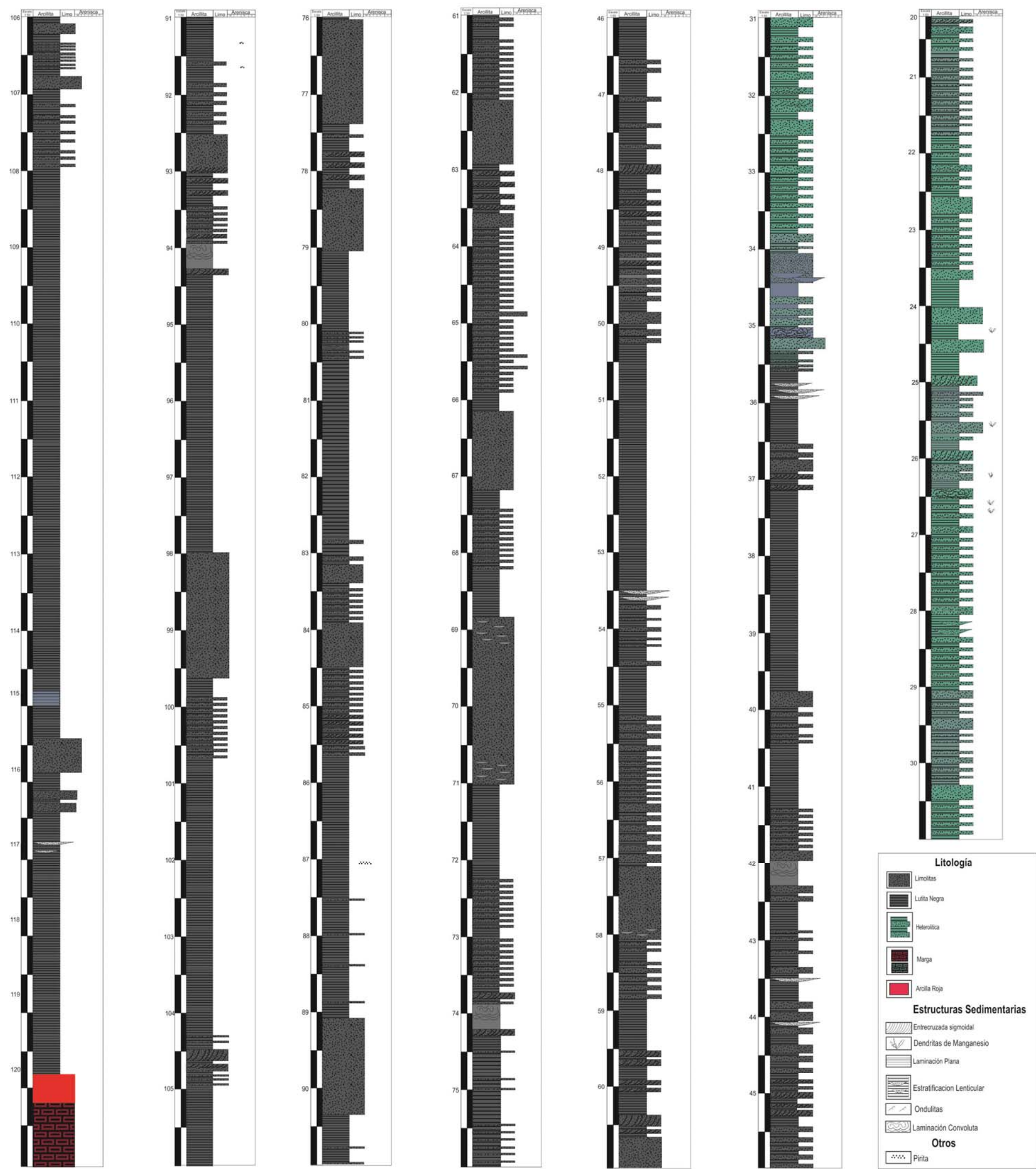


Figura III.17: Perfil TDH 11 Correspondiente al Yacimiento la Cabañita

Perfil TDH 26 (14m -86m)

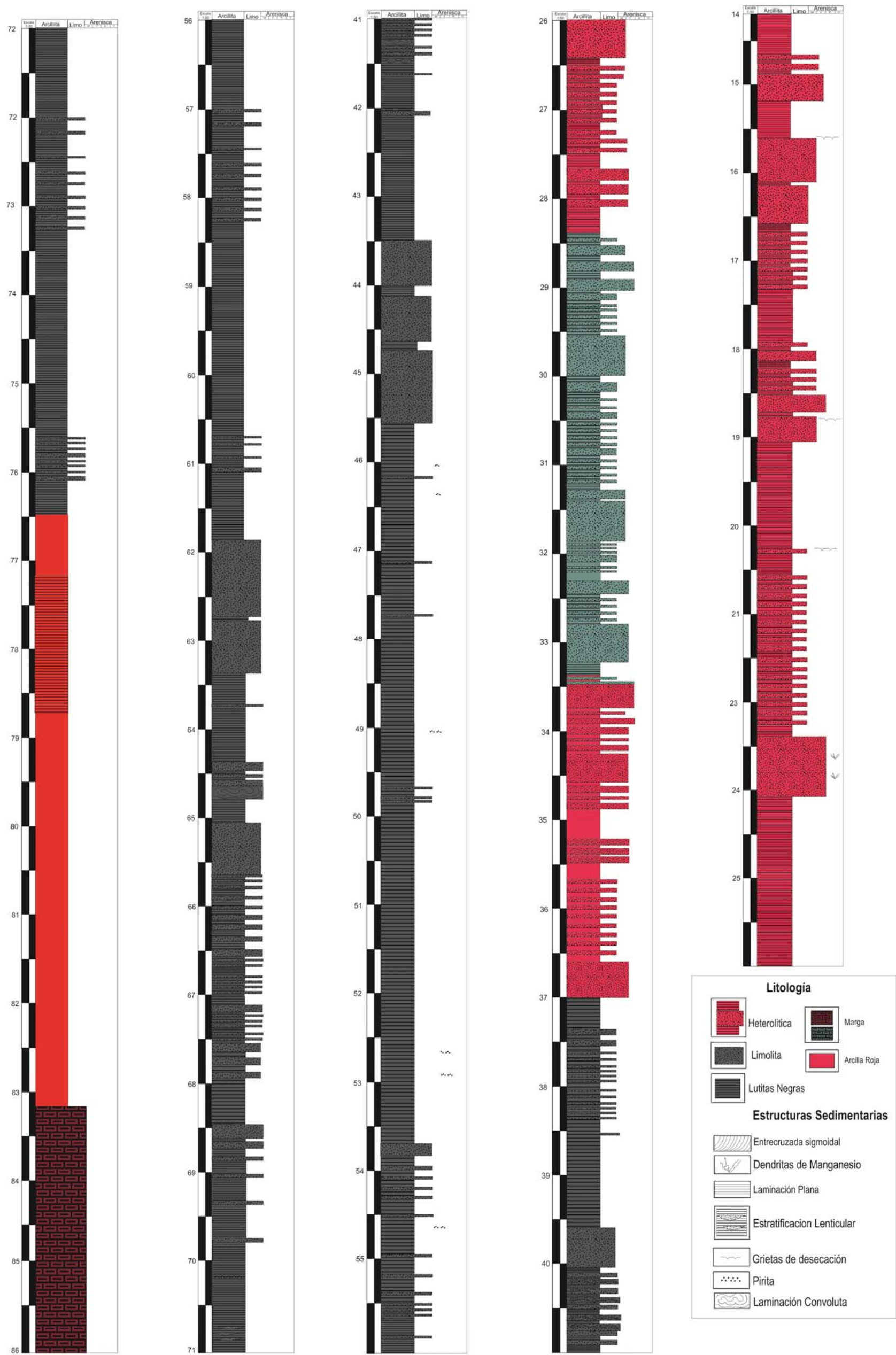


Figura III.18: Perfil TDH 26 Correspondiente al Yacimiento la Cabañita

III.2 Análisis de facies

El término facies sedimentarias hace referencia al conjunto de rasgos primarios de un intervalo de una sección estratigráfica local, cuya formación es el resultado de los fenómenos de deposición propios de un ambiente y de los procesos que lo caracterizan (Spalletti, 1980).

En esta sección, se presentan los principales atributos de las facies sedimentarias (textura y estructura) dejando el análisis detallado de la mineralogía (por DRX, petrografía y geoquímica) para los capítulos posteriores.

En trabajos anteriores se definieron para la Formación Cerro Negro tres facies sedimentarias que se ordenan estratigráficamente de la siguiente manera:

- Facies de brechas de talud de ftanita y fangolitas (Barrio *et al.*, 1991).
- Facies de mudstones micríticos con estratificación plana y fangolitas y mudstones micríticos con estratificación ondulítica (Barrio *et al.*, 1991). Denominado previamente como el “miembro margoso” por Leanza y Hugo (1987).
- Paquete de ritmitas de psamitas finas y arcilitas de color castaño rojizo con tonalidades verdosas. (Iñiguez y Zalba, 1974).

A partir de los datos relevados durante el trabajo de campo, descripción de testigos corona en gabinete y los antecedentes señalados en el párrafo anterior, se propone completar el esquema de facies considerando las facies sedimentarias descriptas en el presente estudio; las cuales serán interpretadas en función de los procesos asociados y agrupadas en asociaciones de facies.

Es importante señalar que las facies descriptas a continuación se reconocieron en un 90 % de los casos a partir de los testigos de perforación. Cabe considerar, que este tipo de análisis, dificulta establecer las variaciones laterales de los cuerpos rocosos más aun, como sucede en este caso, debido a que las distancias entre cada testigo ha sido de 100 metros o más.

A continuación se describen cada una de las facies sedimentarias presentes teniendo en cuenta su orden de aparición estratigráfico de base a techo.

III.2.1. Facies margosas masivas (**Mm**) y Facies margosas laminadas (**MI**)

Estas facies, constituyen cuerpos que se adaptan a la geometría de un relieve irregular anterior de origen cárstico (Superficie Barker, Poiré *et al.*, 2009), evidenciado por su estructura externa de bases cóncavas y techos planos. Como consecuencia de este sustrato irregular, el espesor de la

secuencia es variable, desde los dos metros (cantera El Polvorín, **Figura III.3**) alcanzando los diez metros registrados en subsuelo (sondeos Yacimiento La Cabañita, **Figura III.16**).

Las margas se presentan con tonalidades que varían de rojizas a verdosas, con reacción media al HCl 5 molar, estratificación tabular delgada a media e internamente masivas. Eventualmente, se reconoce una laminación interna planar u ondulosa, asociadas a la presencia de arcilitas laminadas en los senos de las óndulas (**Figura III 19**).



Figura III.19: Frente de cantera El Polvorín. Facies de margas (**Mm**)

III.2.2 Facies de pelitas

En cuanto a la abundancia de los tipos de rocas sedimentarias reconocidas en los afloramientos y en subsuelo, las pelitas representan alrededor de un 75 % de las rocas estudiadas.

A continuación se describen las tres facies sedimentarias pelíticas reconocidas.

III.2.2.1 Facies de pelitas - Arcilitas rojas masivas (**PArm**)

Esta facies está constituida por arcilitas de color rojo, masivas o con laminación difusa. Se ubican inmediatamente por encima de las facies margosas mediante contacto neto, con espesores

relativamente constantes, de hasta 9 metros. Esta facies ha sido reconocida tanto en los frentes de cantera como en testigos de perforación.

III.2.2.2 Facies de lutitas negras/grises (*Lng*)

Las lutitas se presentan con coloraciones que gradan de negro a gris oscuro, presentan marcada fisilidad o una laminación muy penetrativa con desarrollo de superficies suaves, sedosas y planas. En las lutitas más oscuras se destaca la presencia de cristales de pirita de 1 a 2 mm, ya sea con hábito cúbico o como concentraciones de formas irregulares (Figura III. 20 A Y B).

Esta facies solo se ha identificado en subsuelo constituyendo niveles desde milimétricos a más del metro de espesor (Figura III. 20 C).

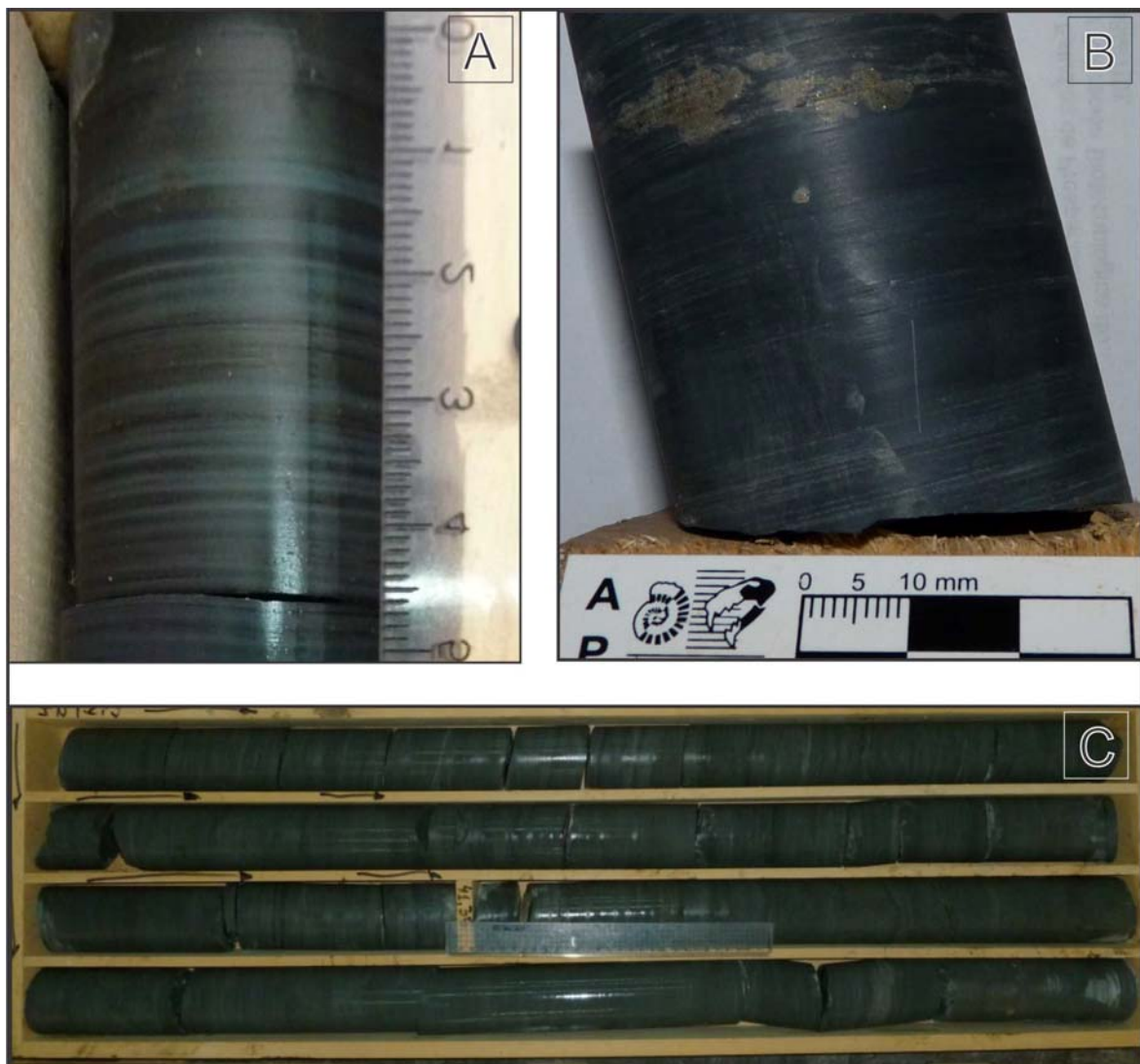


Figura III.20: Facies Lutita Negra. A) Lutitas negras con fisilidad. B) Agregados de pirita. C) Testigo de perforación TCA 10.

III.2.2.3 Facies de pelitas - limolitas grises a blanquecinas masivas (**PLm**)

Esta facies está conformada por limolitas masivas de color gris claro a blanquecino, que eventualmente muestran laminación planar, las mismas se presentan en niveles con espesores que pueden variar de los 10 cm al metro y medio. En los niveles con tonalidades más claras a blanquecinas se observa una reacción leve al HCl 5 molar, lo cual deja en evidencia la presencia de partículas carbonáticas (para más detalle ver Cap. V).

III.2.3 Facies arenosas

Las facies arenosas se hacen presentes hacia el techo del conjunto de sedimentitas estudiadas, característica que se puede observar en los perfiles relevados tanto de los frentes de cantera, como de los testigos corona. (**Figura III.2 y Figura III.8**)

III.2.3.1 Facies de areniscas medianas masivas (**Am**)

Esta facies está constituida por areniscas castañas rojizas o verdosas de tamaño de grano mediano, masivas con base y tope plano, con espesores que van desde los dos metros hasta los 5 metros. Composicionalmente se distinguen granos de cuarzo, en menor medida fragmentos líticos alterados y/o granos de composición no distinguible bajo la lupa. Se observan calcos de grietas de desecación, marcas de escurrimiento y calcos de hoyos de flujo (flutes) (**Figura III.21 A y E**).

III.2.3.2 Facies de arenas finas a medianas con óndulas y laminación entrecruzada (**Alx**)

Areniscas finas a medianas, con óndulas simétricas cuyo índice de óndulas (Long de ondula/altura) promedio de 5,5 y un índice de asimetría (largo de sotavento/largo del barlovento) promedio de 2,1, de crestas rectas y agudas. En algunos, casos se observaron crestas de interferencia que se cruzan pseudo- perpendiculares entre sí. En la cantera Cerro Negro se obtuvieron mediciones del rumbo de las crestas de las óndulas las cuales muestran orientaciones predominantemente hacia el NO-SE y N-S. (**Figura III.21. B, C y D**)



Figura III.21: A, B, C, D fotos de Testigos A) Arenisca fina masiva con dendritas de MnO. B) y D) Laminación entre cruzada. C) laminación y calcos de carga. E) "Flutes "y F) laminación entrecruzada. Frente de cantera Cerro Negro.

III.2.4 Facies heterolíticas

Dentro de las sucesiones heterolíticas se reconocieron tres facies según a la proporción de elementos tractivos y de decantación; todas ellas se encuentran estrechamente asociadas y se encuentran bien representadas a lo largo de todos los perfiles descriptos, tanto en frentes de canteras como en testigos corona.

III.2.4.1 Facies heterolítica con estratificación ondulosa (**Ho**)

En esta facies la **relación arena fina /arcilla es cercana a uno**, el espesor de los paquetes varía entre los 50 cm al metro y medio. En la cantera Cerro Negro se reconoció una geometría externa tabular de los cuerpos. La estructura interna mejor representada en las arcilitas es la laminación paralela y en las areniscas muy finas la laminación entrecruzada sigmoidal (**Figura III.22 A y C**).

Para estas facies heterolíticas se reconocen dos tipos distinguibles según variaciones en las tonalidades y en la textura.

1. Facies heterolítica gris ondulosa (limo/arcilla) **Ho₁** donde alternan lutitas de tonalidades negras a grises con limolitas grises a grises muy claras (blanquecino) bien seleccionadas, con una laminación ondulítica y/o laminación entrecruzada sigmoidal (**Figura III.22 A y C**). En menor medida se reconocen estructuras deformacionales como la laminación convoluta (**Figura III.22 B**).
2. Facies heterolítica roja ondulosa (Arena fina/arcilla) **Ho₂** En ésta se reconoce una alternancia de arcilitas rojas, con areniscas finas a medianas masivas y/o con laminación entrecruzada.

III.2.4.2 Facies de heterolítica con laminación mixta lenticular (**HI**)

En esta facies, con **dominio de fango** de colores variables (rojizas y grises), se reconoce la presencia de laminación paralela en la fase fangosa, la cual intercala con delgados lentes de limolitas arenosas que se asemejan a “islotas”. Los niveles limo arenosos tienen entre 2 a 7 mm, poseen en algunos casos una geometría irregular y en otros lenticular. Los contactos inferiores entre las fangolitas y las laminas limo arenosas son netos (**Figura III.23 A, B Y C**).



Figura III.22: Facies Heterolítica con estratificación ondulosa (Ho).

A) Laminación entrecruzada sigmoidal. B) Laminación convoluta.

C) Laminación entrecruzada tangencial a la base.

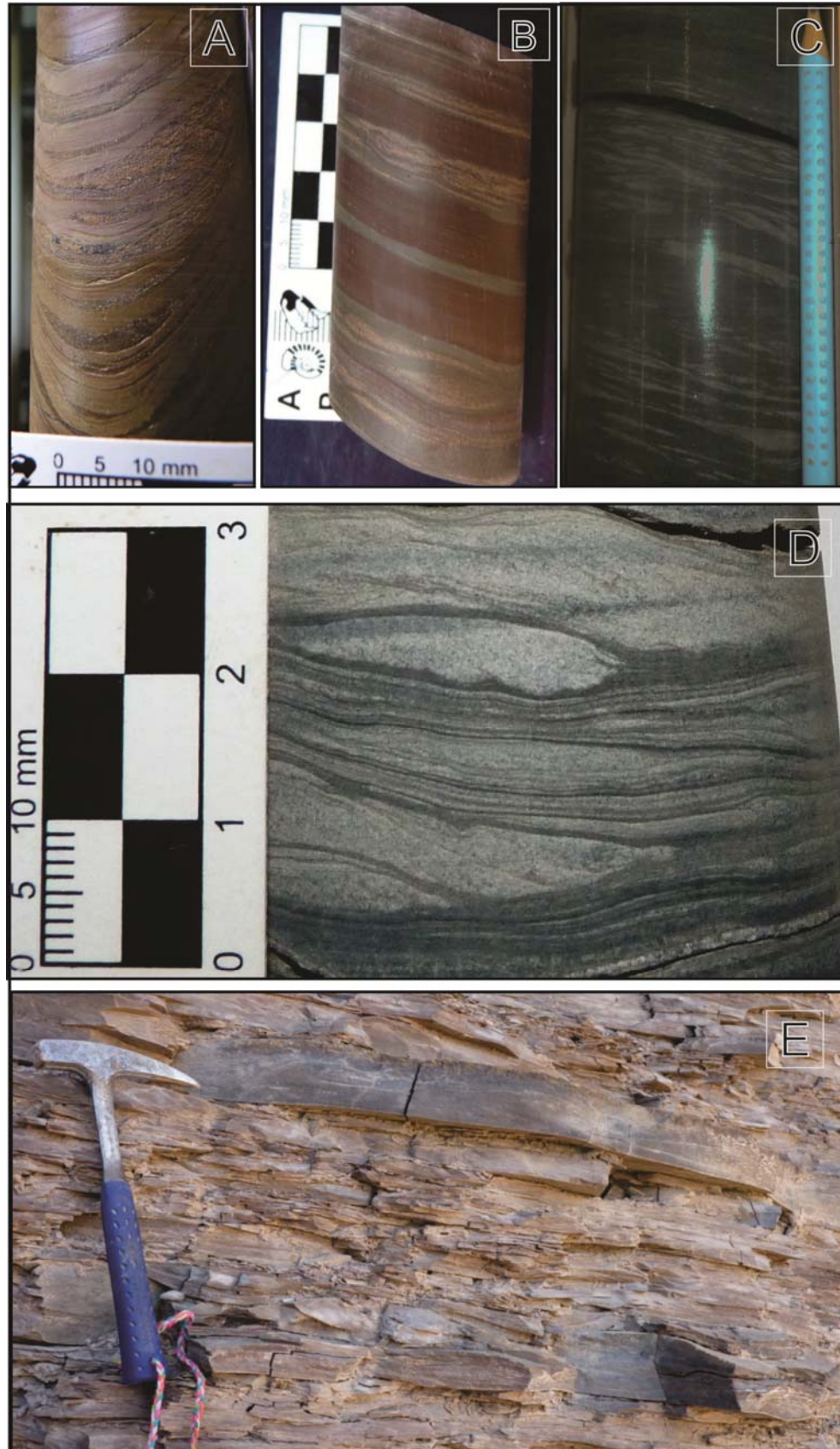


Figura III.23: A, B y C) Facies heterolítica con estratificación mixta lenticular (**HI**)
D) Facies heterolítica con estratificación mixta flaser (**Hf**). E) Facies heterolítica con estratificación mixta ondulosa (**Ho**). Perfiles TA 22 / TDH 26 y Cantera Cerro Negro.

III.2.4.3 Facies heterolítica con estratificación mixta de tipo Flaser (*Hf*)

En esta facies se reconocen niveles de areniscas finas a limolitas (rojas o grises) que intercalan con delgadas y discontinuas láminas de lutitas negras o arcilitas rojas, el espesor de la sucesión varía desde unos pocos centímetros hasta el metro y medio. La base es comúnmente neta, aunque ocasionalmente se reconocieron superficies erosivas.

Las láminas de arcilitas se concentran en los senos de las óndulas. Las arenas finas y las limolitas pueden presentar estructuras primarias como laminación entrecruzada sigmoidal. Esta facies se reconoce en los frentes de canteras y en subsuelo (*Figura III.23 D y E*).

III.3 Interpretación de Facies Sedimentarias.

A partir de los análisis de las litologías presentes en las localidades estudiadas y sobre la base de los atributos sedimentológicos definidos en afloramientos y en testigos de perforaciones (litología, estructuras sedimentarias primarias y secundarias) se definieron 7 facies sedimentarias

El trabajo de identificar a las facies tiene un fin interpretativo muy importante a la hora de definir procesos y ambientes depositacionales, ya que cada facies reconocida representa características específicas, como ser energía y fluidez del agente de transporte, la tasa de deposición, participación de organismos bioturbadores, productividad de carbonatos, entre otros.

A continuación se presenta un cuadro que sintetiza las principales características de cada una de las facies descriptas.

FACIES	LITOLOGÍA	INTERPRETACIÓN
Mm - MI	Margas masivas a laminadas	Facies mixta, originada a partir de la decantación de fangos silicoclásticos y calcáreos en un ambiente de baja energía, sin estructuras tractivas y sin re trabajo de olas.
Parm	Pelitas - arcillitas rojas masivas	Facies depositadas por decantación de material silicoclástico de grano fino, en ambientes con ausencia de corrientes y olas. La estructura masiva puede ser producto de la floculación de las arcillas y el color rojo podría estar relacionado a un ambiente óxico/sub-óxico.
Plm	Pelitas - limolitas grises a blanquecinas	Facies silicoclásticas de grano fino, depositadas por episodios tractivos distales.
Lng	Lutitas Negras a grises	Facies depositadas por decantación de material silicoclástico de grano fino. Depósitos de decantación suspensiva. Se infiere por su color oscuro y por su estructura primaria (laminación) que el ambiente de depositación ha sido de condiciones anóxicas y de muy baja energía (por debajo del nivel de olas de buen tiempo)
Am	Areniscas finas - medianas masivas	Rápida depositación de areniscas sin posibilidad del desarrollo de estructuras tractivas, alta tasa de sedimentación. "Depósitos de desborde o tormentas" que se transportan hacia el continente entre o superando la o las barreras costeras. En algunos casos se observan calcos de grietas de desecación.
Alx	Areniscas finas - medianas con laminación entrecruzada	Capas laminadas de arena fina, depósitos originados por migración de óndulas en un ambiente subácueo. Índice de óndula (Io) \approx 5,5 e Índice de asimetría (Is) \approx 2. Indicando óndulas de marea.
Ho / I / f	Heterolítica Pelitas - Areniscas finas	Alternancia de eventos tractivos y de decantación en ambientes mareales subácueos. Ho1 / Ho2: Depósitos con intercalación de eventos tractivos y de decantación en igual proporción. HI: Depósitos dominados por decantación con breves periodos de eventos tractivos. H f: Depósitos dominados por tracción con breves pausas de fango.

III.3.1 Asociaciones de facies e interpretación de los procesos sedimentarios.

Una asociación de facies es un grupo o conjunto de facies que guardan una relación física y genética entre sí, que finalmente tienen un significado ambiental (Collinson, 1969); este concepto involucra tanto a las relaciones verticales como laterales. El concepto de asociación de facies es fundamental para definir mecanismos de formación de los depósitos sedimentarios, así como para proponer modelos de sedimentación.

Con estos conocimientos, más un estudio integral de los perfiles relevados y de las siete facies descriptas, se llegó a la determinación de tres asociaciones de facies que se detallan a continuación.

Asociación de facies	Facies
Asociación de facies III	Am - Alx - PArm - Hf
Asociación de facies II	Lng - Plm - Ho - HI
Asociación de facies I	Parm - Mm

A fin de graficar la distribución de las asociaciones de facies entre los distintos perfiles, se toma el inicio de la asociación de facies II como el techo para nivelar los perfiles sedimentológicos, elección que se determinó por tener en esta asociación bien definida la base y el tope en casi todos los perfiles relevados y así poder realizar un esquema donde se pueda observar la disposición y relación temporal de cada una de las asociaciones de facies (Figuras III.24 a y b).

Asociación de facies I (base de los perfiles): Se ubica sobre el relieve cárstico y está integrada por las facies PArm – y Mm, esta asociación inicialmente mixta se enriquece hacia el techo en material silicoclástico. La abundancia de marga depende del mayor o menor aporte clástico, por lo tanto la depositación de las margas y pelitas sugiere modificaciones en el aporte detrítico vinculado con breves fluctuaciones del nivel del mar. Esta asociación se puede interpretar como depositada en una planicie de marea, bajo condiciones submareales (Boyd *et al.*, 1992), si se tiene en cuenta que no hay evidencia de exposiciones subaereas. Barrio, *et al.* 1991 hace referencia a una facies denominada brecha de talud, “bochones” de ftanita y fangolitas que se encuentra inmediatamente por debajo de la facies de margas y pelitas rojas. En este trabajo estas brechas no se han identificado, igualmente se consideran para interpretaciones paleoambientales y estratigráficas.

Asociación de facies II (ubicada en la sección media de los perfiles): Integrada por las facies Lng – PLm – Ho – HI. Similar a la Asociación I pero con una marcada diferencia en el tamaño de grano, haciéndose mucho más fino y sin material carbonatado. Se atribuye a la misma a una sedimentación normal por debajo del nivel de base de olas y profundidades superiores a la base de olas de tormentas, en la que alternan frecuentes pulsos tractivos de poco espesor. Esta asociación identificada en subsuelo por medio de testigos corona, se interpreta como depositada bajo condiciones submareales (Eriksson, 1977; Clifton 1983; Boyd *et al.*, 1992).

Asociación de facies III (techo de los perfiles): Integrada por las facies Am - Alx – PArm - Hf, ésta asociación tiene una alta participación de eventos tractivos alternando con algunas pausas de fango, en profundidades cercanas a la base de olas de buen tiempo, pero con variabilidad en el régimen del oleaje (Stuer, 2006). La laminación entrecruzada se la puede atribuir al producto de la migración de ondas de corriente. Las arenas finas a medianas masivas podrían ser producto de episodios tractivos posiblemente relacionados a desbordes fluviales. Esta asociación se puede interpretar como depositada bajo condiciones submareales a intermareales (Walker, 1990-2006). Esta asociación ha sido descripta tanto, en los testigos de perforación obtenidos en los diferentes yacimientos como en los frentes de cantera.

A continuación en las figuras III.24 a y b se presentan dos diagramas interpretativos de la distribución de las facies tanto en el Yacimiento Alicia como en el Yacimiento La Cabañita

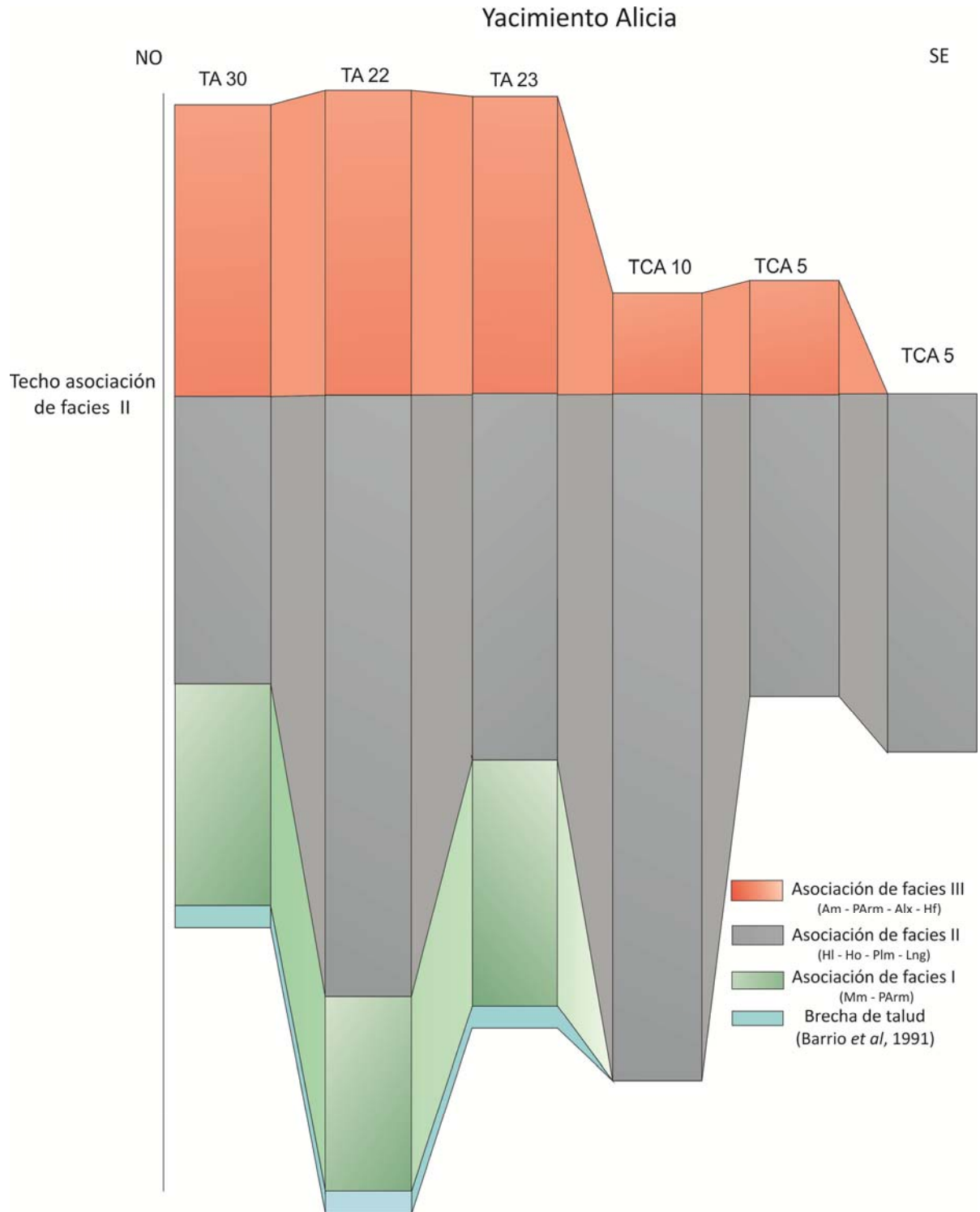


Figura III.24: a). Diagrama de correlación de las facies en el Yacimiento Alicia, nivelado al tope de la asociación de facies II.

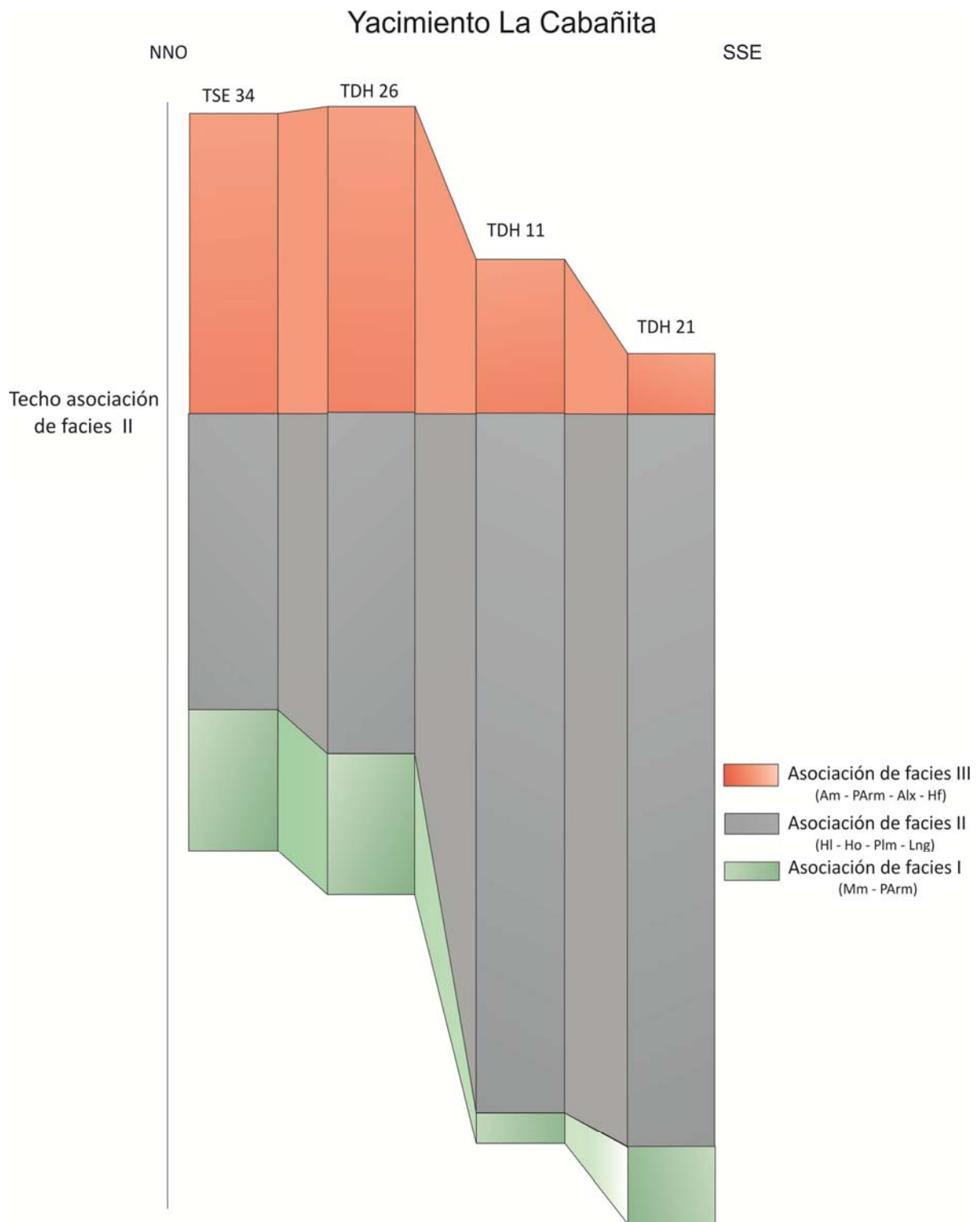


Figura III.24: b). Diagrama de correlación de las facies en el Yacimiento La Cabañita, nivelado al tope de la asociación de facies II

III.4 Consideraciones preliminares

Con los estudios efectuados en los perfiles relevados, se identificaron siete facies posteriormente agrupadas en tres asociaciones de facies, las cuales se interpretan como desarrolladas en un ambiente marino poco profundo del tipo planicie de marea, sugerido anteriormente por [Llignuez y Zalba \(1994\)](#). Este tipo de ambiente se caracteriza por ubicarse en una extensa área topográficamente baja, que se desarrolla entre el borde continental y una isla de barrera, que se conecta al mar abierto por estrechos de marea ([Emerye et al, 1957](#); [Spalletti, 1980](#); [Kraft, 1987](#); [Walker, 2006](#)) actuando las mareas como agente principal.

Teniendo en cuenta que estamos en secuencias muy antiguas donde el registro fósil y las bioturbaciones son de muy escasos a nulas, y que las mismas representan una herramienta muy importante a la hora de definir paleoambientes, la escasez de estos datos agrega un factor de dificultad a la hora de generar el modelo conceptual de acumulación de los depósitos.

A continuación se presenta la interpretación paleoambiental de las facies descriptas, acompañada de un conjunto de gráficos a modo de resumen, integrando facies, asociaciones de facies y paleomabientes ([Figura III.25 A y B y III.26 C, D y E](#)).

Se parte de un modelo previo ([Barrio et al, 1991](#)) que sugiere una sedimentación carbonática de aguas someras representada por la Formación Loma Negra ([Figura III.25 A](#)), posteriormente se registra un descenso del nivel del mar, seguido de una exposición subaérea con fenómenos de disolución cárstica generando un paleorelieve cárstico ([Figura III.25 B](#)).

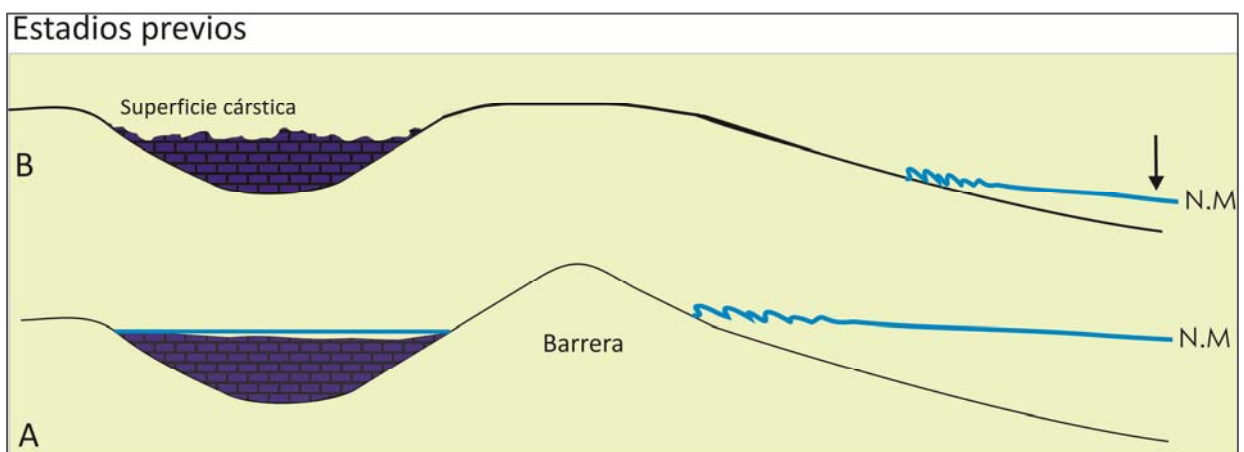


Figura III.25: A y B: Esquema del modelo previo planteado por [Barrio et al, 1991](#).

Teniendo en cuenta las asociaciones de facies descritas en este trabajo y que estamos en secuencias muy antiguas donde el registro fósil y la bioturbaciones son muy escasos a nulas, se propone que las unidades que comprenden este estudio pertenecen a un ambiente de planicie mareal, ubicada en un área restringida, sin conexión directa al mar abierto; conformando lagunas y bahías, en el cual se pueden reconocer dos subambientes: submareal, de muy baja energía con eventuales intermareas.

El subambiente submareal es aquel que permanece permanentemente por debajo del nivel del agua, aun en períodos de bajar, incluye a las partes más profundas de los canales de marea, lagunas y el mar abierto, donde la depositación del sedimento es por decantación de material fino (Eriksson 1977, Boyd *et al.*, 1992, Suter, 2006). Este subambiente está representado por las asociaciones de facies I y II (Figura III.26 C y D). Sin embargo, con las características observadas, se podría descartar la presencia de depósitos originados en un ambiente marino abierto y destacar la presencia del material más grueso (facies de limos masivos) como momentos de depositación tractivos, producto de desbordes distales rápidos, generados por fluctuaciones en el nivel del mar. (Figura III.26 C y D).

El subambiente intermareal se encuentra entre los niveles de alta y bajar, lo que hace que esté inundado durante los periodos de pleamar y expuesto a la intemperie en los periodos de bajar.

Dentro de este subambiente se pueden reconocer canales de mareas, en bajos intermareales, estructuras sedimentarias estratales y subestratales como canales de escurrimiento, grietas de desecación, calcos de carga (flutes) y depósitos típicos de playas (Clifton, 1983; Suter, 2006).

Este subambiente de planicie intermareal se encuentra representado por la asociación de facies III (Figura III.26 E).

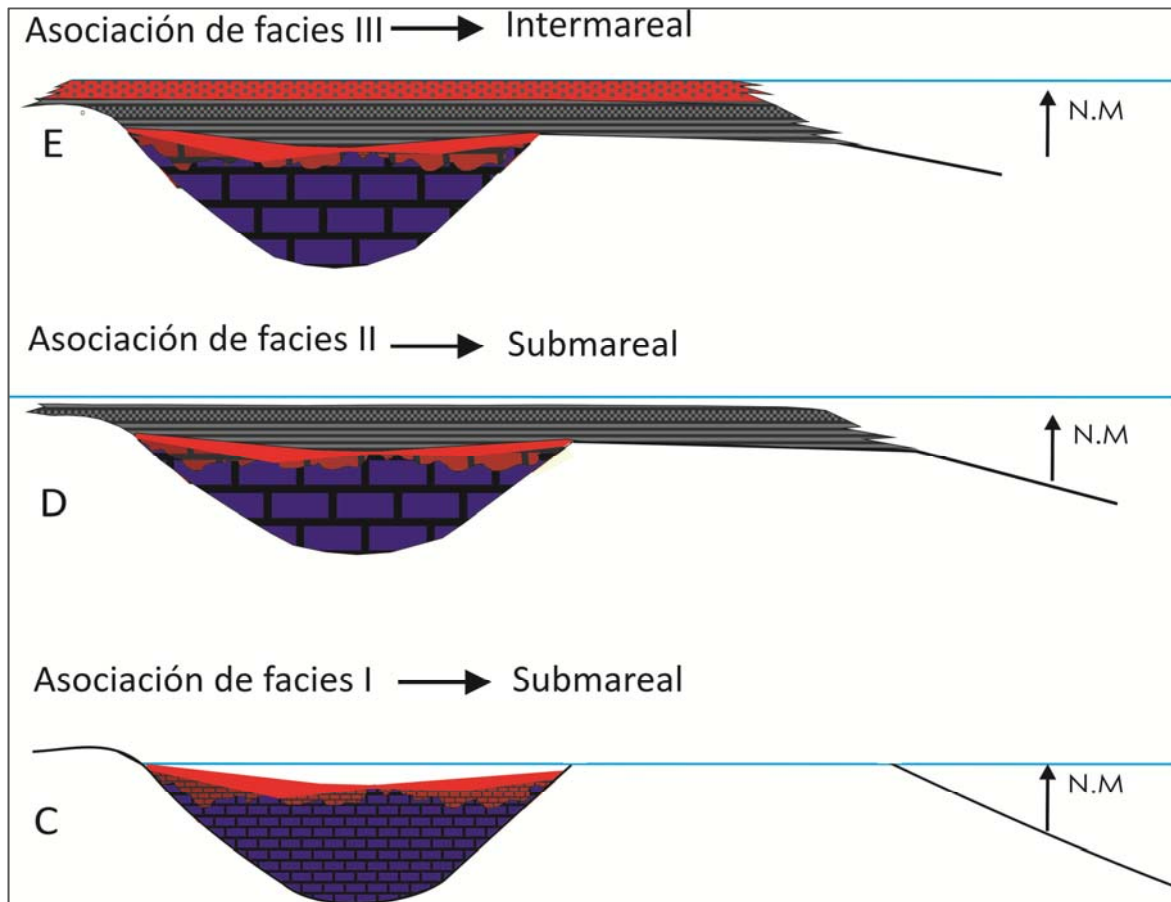


Figura III.26: C, D y E: Esquema paleambiental interpretativo, integrando facies y asociaciones de facies.

CAPÍTULO IV

IV. Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X

IV.1 Generalidades

IV.2 Elección de las muestras

IV.3 Cantera El Polvorín

IV.4 Yacimiento Alicia

IV.5 Yacimiento La Cabañita

IV.6. Geotermómetros (índices de cristalinidad)

IV.7. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

IV.8 Origen de las Arcillas estudiadas en este trabajo

IV.9 Conclusiones preliminares

IV

(Análisis mineralógico por difracción de Rayos X)

IV. 1.Generalidades

El análisis mineralógico por difracción de Rayos X (DRX) permite reconocer los componentes presentes en las rocas silicoclásticas y margosas (mezcla de mudstones carbonáticos con pelitas), que conforman las diferentes facies sedimentarias descriptas en el capítulo III. Teniendo en cuenta que la fracción fina es el componente predominante, la difracción de Rayos X se transforma en una herramienta fundamental para la identificación de los minerales de arcilla y del resto de los componentes minerales asociados.

Las arcillas permiten estudiar, interpretar y entender procesos geológicos tales como las condiciones ambientales, zonación, correlaciones estratigráficas, rocas madre, alteraciones meteórica e hidrotermal, diagénesis y metamorfismo (Keller, 1970; Galán, 1982; Singer, 1984; Henley, 1985; Ortega-Huertas *et al.*, 1991; Chamley, 1993; Galán *et al.*, 2006).

La metodología de estudio mediante la técnica de DRX se puede consultar en el capítulo II sección 2.3.3, es donde se describe la misma en forma detallada.

IV.2 Elección de las muestras.

Se analizaron un total de 181 muestras de roca, de las cuales 115 proceden de testigos coronas de los sondeos de perforación realizados en el yacimiento Alicia, 49 corresponden a testigos corona de los sondeos de perforación llevados a cabo del yacimiento La Cabañita y 17 muestras ha sido tomadas del frente de cantera en el yacimiento El Polvorín.

Es importante aclarar que la toma de muestras en el yacimiento La Cabañita fue menor, y por lo tanto el análisis por difracción de rayos X también, no por falta de material sino que la misma se encontró temporalmente muy acotada debido a que la campaña de perforación se realizó durante los meses de julio a septiembre del año 2013.

Para el Yacimiento Alicia se eligieron muestras provenientes de los perfiles de perforaciones, previamente descriptos, TA 22, TA 23, TA 27, TCA 2 y TCA 3 (Figuras III.7 a la 12 - Cap.III), por considerarse a éstos los que mejor representan las unidades en estudio.

Para el Yacimiento La Cabañita se eligió el perfil TSE 34, con los mismos criterios con los que se escogieron las muestras anteriores.

Las muestras analizadas para el yacimiento El Polvorín fueron tomadas en el mismo frente de cantera de donde se levantó el perfil sedimentario (Figura III 3, Cap. III).

Para todos los casos la toma de muestras fue sistemática, con espaciados de un metro a menores a este, haciendo hincapié en que las muestras sean texturalmente lo más finas posible y que no presenten alteración alguna, ni se encuentren cerca de “zonas de falla” lo cual podría alterar sustancialmente el resultado de los análisis.

Es importante señalar, por no ser la metodología habitual, que las descripciones se hacen en un sentido estratigráfico descendente (de techo a base).

IV.3 Cantera El Polvorín

IV.3.1 Análisis de roca total y fracción fina

Mediante la difracción de rayos X se analizaron un total de 17 muestras de roca, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Para los análisis semicuantitativos en **roca total**, se puede observar en la tabla IV.3.A y en la gráfica que la acompaña (Fig. IV.3.1), un fuerte predominio del cuarzo en los primeros 4 metros, para luego pasar a predominar la calcita hasta la base del perfil. Los contenidos de arcillas y feldespatos en general son de escasos a muy escasos. Entre los feldespatos solo se registró plagioclasa (confirmada petrográficamente).

Para los análisis en **fracción fina**, se registra una fuerte predominancia de la illita, a lo largo de todo el perfil, en proporciones que varían entre los 85 % y 95 %, siendo la clorita y los interestratificados de illita/esmectita, argilominerales subordinados, que entre los dos no superan el 15 % de esta fracción.

A continuación se presenta la tabla de resultados (Tabla IV.3.A), el perfil sedimentológico con las gráficas correspondientes a la distribución y cantidades de los minerales reconocidos (Figura IV.3.1). Por último, se presentan cuatro difractogramas como los más representativos, los dos primeros corresponden a la parte superior de perfil (metro 3), rico en cuarzo, tanto para roca total como fracción fina (Figura IV.3.2 a) y los dos subsiguientes corresponden a la parte inferior del perfil (metro 17) donde se hace abundante en calcita (Figura IV.3.2 b).

Profundidad	Roca Total							Arcillas			
	Q	Feld		Carbonato	Py	Otros	Arc	I	IS	CS	Cl
		K	Pl	Ca							
HT 1	88	0	2	0	0	5	5	90	10	0	0
HT 2	73	1	3	0	0	5	18	90	10	0	0
HT 3	83	0	3	0	0	5	9	90	10	0	0
HT 4	86	0	1	0	0	5	8	87	9	0	4
HT 5	70	0	0	20	0	5	5	86	11	0	3
HT 6	30	0	0	61	0	5	4	90	9	0	1
HT 7	50	0	0	36	0	5	9	90	8	0	2
HT 8	20	0	0	72	1	5	2	95	5	0	0
HT 9	30	0	0	60	1	5	4	85	15	0	0
HT 10	34	0	0	57	0	5	4	85	10	0	5
HT 11	15	0	0	75	0	5	5	90	0	0	10
HT 12	30	0	0	60	0	5	5	87	7	0	6
HT 13	20	0	0	73	0	5	2	99	1	0	0
HT 14	27	0	0	65	0	5	3	94	0	0	6
HT 15	31	0	0	60	0	5	4	90	0	0	10
HT 16	25	0	0	66	0	5	4	95	0	0	5
HT 17	38	0	0	55	0	5	2	90	0	0	10

Tabla IV.3.A. Datos composicionales perfil El Polvorín a partir de la Difracción de Rayos X.

Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; Feld: feldespatos; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita, Py:pirita; Arc: arcillas, I: illita, Sm: esmectita, IS: interestratificados illita/esmectita, CS: interestratificados clorita/esmectita, Cl: clorita.

Los valores de roca total son arbitrarios y representan un valor fijo tomado para graficar dentro de los intervalos desarrollados en la **Figura IV.3.1** (Ver: capítulo II, sección II.2.3.3.2)

El mismo procedimiento se tomará en cuenta en el resto de los perfiles.

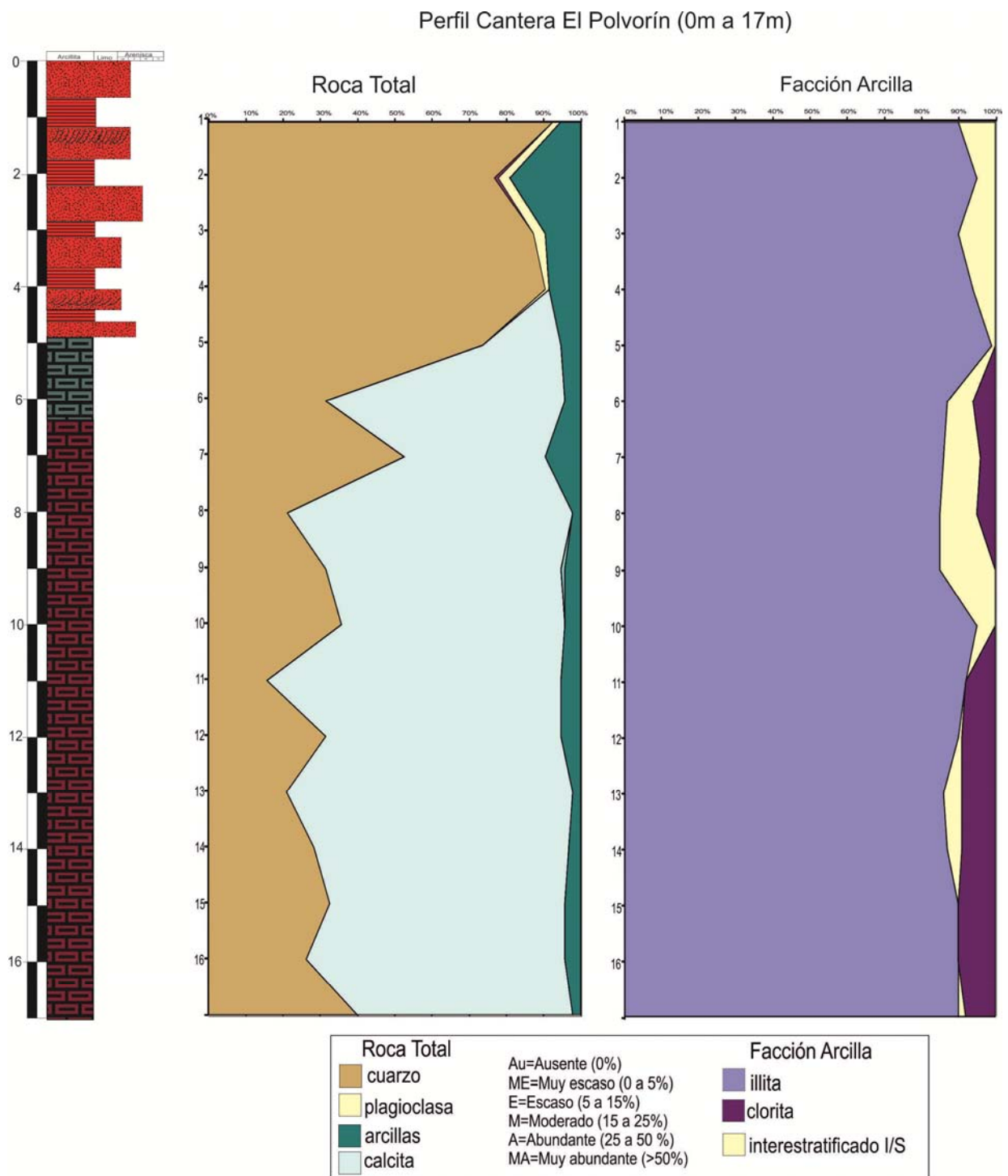


Figura IV.3.1: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción por rayos X para el perfil *El Polvorín* (Para referencias del perfil ver **Figura III.3**).

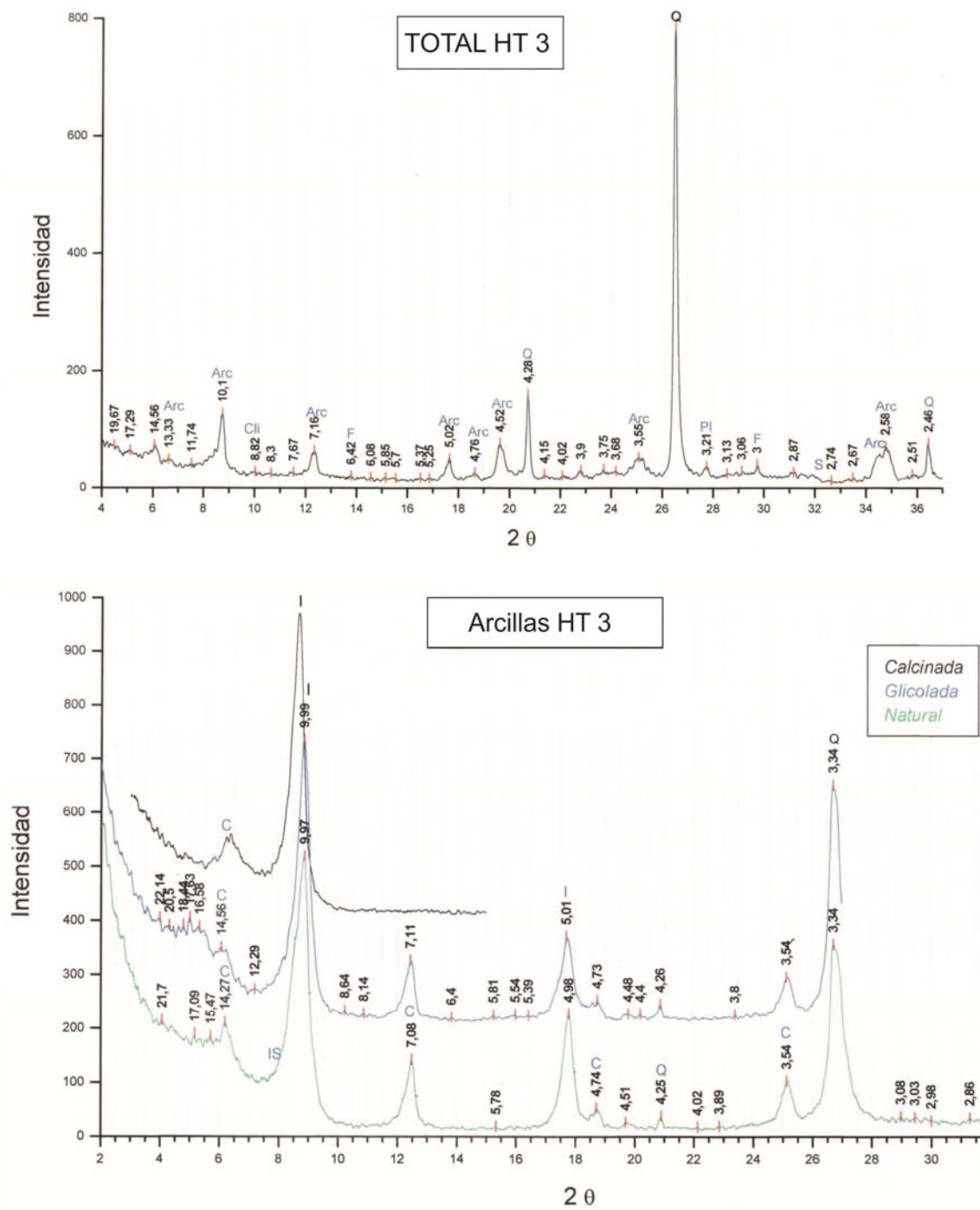


Figura IV.3.2(a): Difractogramas de rayos X para las muestras correspondientes HT 3 de la parte superior del perfil El Polvorín, arriba se observa la roca total. Abajo el de la fracción fina para la misma muestra.

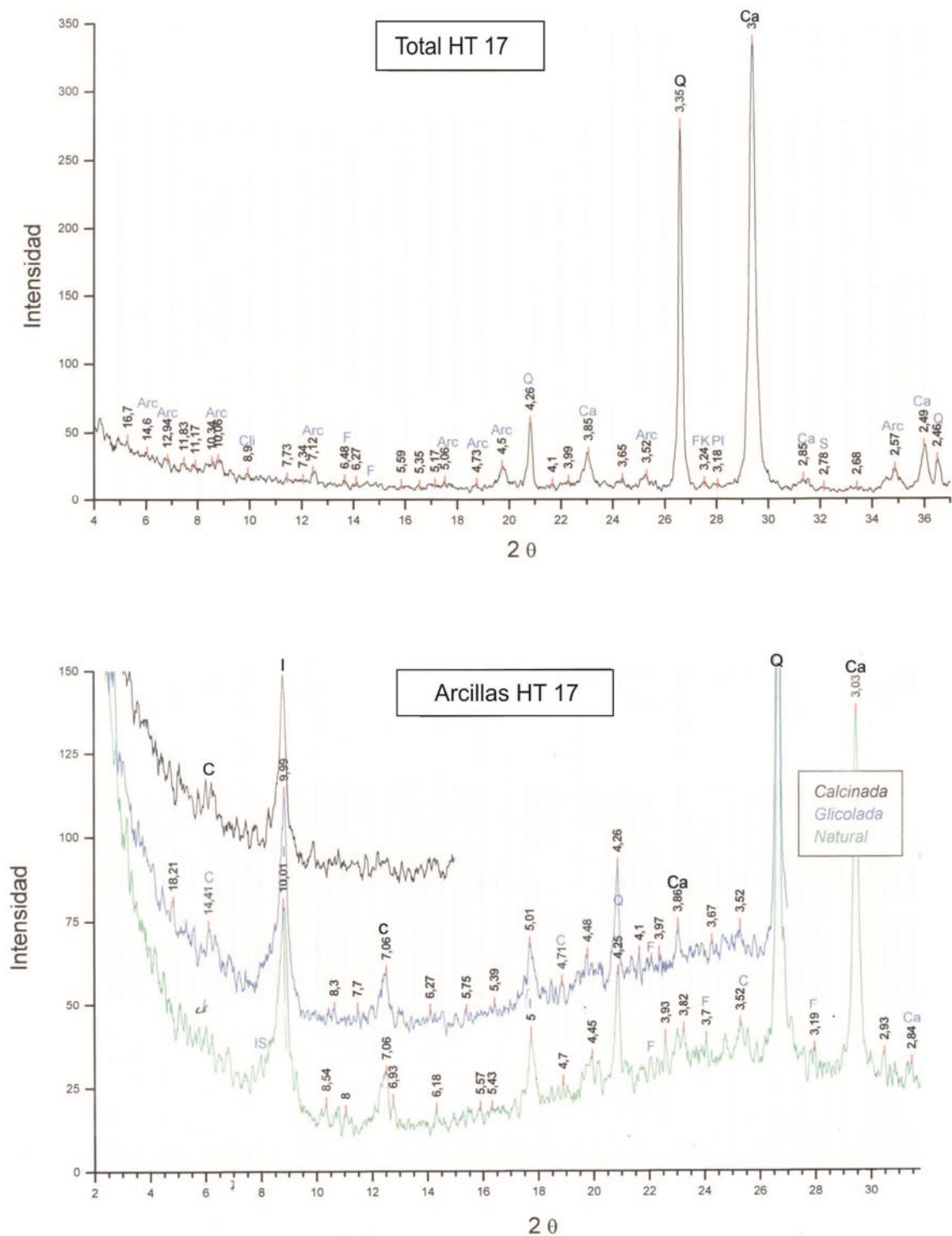


Figura IV. 3.2 (b): Difractogramas de rayos x para las muestras correspondientes HT 17 de la parte superior del perfil El Polvorín, arriba se observa el resultado en roca total, abajo el de la fracción fina.

IV.4 Yacimiento Alicia

Como se mencionó anteriormente, los perfiles elegidos para realizar el análisis por Difracción de Rayos X fueron los de las perforaciones: TA 22, TA 23, TA 27, TCA 2 y TCA 3, sobre las que se llevaron a cabo los siguientes análisis.

IV.4.1 Análisis de roca total y fracción fina

Perfil TA 22

Se analizaron un total de 30 muestras, las cuales arrojaron los siguientes resultados:

Para los análisis semicuantitativos en **roca total**, y en sentido estratigráfico descendente se puede observar que el cuarzo se presenta en proporciones abundantes (50 % a 76 %) hasta el metro 169 – 170, a partir de allí se incrementa el contenido de carbonatos de 0 % a valores de 64 %. Los contenidos de arcillas, varían a lo largo del perfil se comienza con proporciones que varían entre los 15 % y los 22%, para el metro 69 – 70, esta proporción aumenta llegando a estimaciones del 44 %, nuevamente en el intervalo de dos metros 158 – 160 la proporción de arcillas vuelve a bajar llegando a valores que no superan el 10 % (metro 170). Los feldespatos en general se encuentran en porcentajes que no superan el 15 %, y desaparecen en el metro 169. Entre los feldespatos, son más frecuentes las plagioclasas y se registran escasos feldespatos potásicos (Ver Capítulo V).

Para los análisis en **fracción fina**, se registra una fuerte predominancia de illita, a lo largo de todo el perfil, en proporciones que varían entre los 85 % y 95 %, siendo la clorita más escasa con valores que llegan hasta un 14 %.

A continuación se presenta la tabla de resultados (Tabla IV.4 a), el perfil sedimentológico con las gráficas correspondientes a la distribución y cantidades semicuantitativas de los minerales reconocidos a partir de la lectura de los difractogramas (Figura IV.4.1). Asimismo se presentan dos difractogramas, uno en roca total y el otro para la fracción fina; correspondientes al metro 133 (Figura IV.4.2).

Profundidad	Roca Total						Arcillas			
	Q	Feld		Carbonatos	Ot	Arc	I	IS	CS	Cl
		K	Pl	Ca						
TA 22 44	68	0	10	2	5	15	86	4	0	10
TA 22 48,6	68	0	10	4	5	18	92	1	0	7
TA 22 55,4	57	0	23	0	5	15	87	1	0	12
TA 22 58,5	60	0	16	0	5	19	89	0	0	11
TA 22 64,2	60	0	14	0	5	21	92	0	0	8
TA 22 67,4	65	0	8	0	5	22	94	0	0	6
TA 22 72,3	62	0	11	0	5	22	92	0	0	8
TA 22 77,3	60	2	9	0	5	24	92	0	0	8
TA 22 82	58	2	8	0	5	27	91	0	0	9
TA 22 92	53	0	3	0	5	39	86	0	0	14
TA 22 97	50	0	12	0	5	33	92	0	0	8
TA 22 103	55	3	10	0	5	27	93	0	0	7
TA 22 106	60	2	11	0	5	22	96	0	0	6
TA 22 111	58	2	10	0	5	25	92	0	0	8
TA 22 114	61	0	13	0	5	21	87	0	0	13
TA 22 116	61	0	12	0	5	22	95	0	0	5
TA 22 120	58	0	12	0	5	25	93	0	0	7
TA 22 124	41	0	15	0	5	39	92	0	0	8
TA 22 128	43	0	10	0	5	42	91	0	0	9
TA 22 133	60	0	13	2	5	25	91	0	0	9
TA 22 136	59	0	10	2	5	24	92	0	0	8
TA 22 140	60	0	9	0	5	26	93	0	0	7
TA 22 144	43	0	8	0	5	44	92	0	0	8
TA 22 150	55	0	11	0	5	29	90	0	0	10
TA 22 155	58	0	5	0	5	32	92	0	0	8
TA 22 158	70	0	5	0	5	20	94	0	0	6
TA 22 163	76	0	10	0	5	9	97	0	0	3
TA 22 168	63	0	3	0	5	28	94	0	0	6
TA 22 169,3	44	0	0	36	5	15	98	0	0	2
TA 22 170	38	0	0	50	5	7	99	0	0	1
TA 22 179	20	0	0	61	5	14	99	0	0	1

Tabla IV.4.A: Datos composicionales Perfil TA 22, Yacimiento Alicia, a partir de la difracción de rayos X.

Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita; Arc: arcillas., I: illita, Sm: esmectita, IS: interestratificados illita/esmectita, CS: interestratificados clorita/esmectita, Cl: clorita.

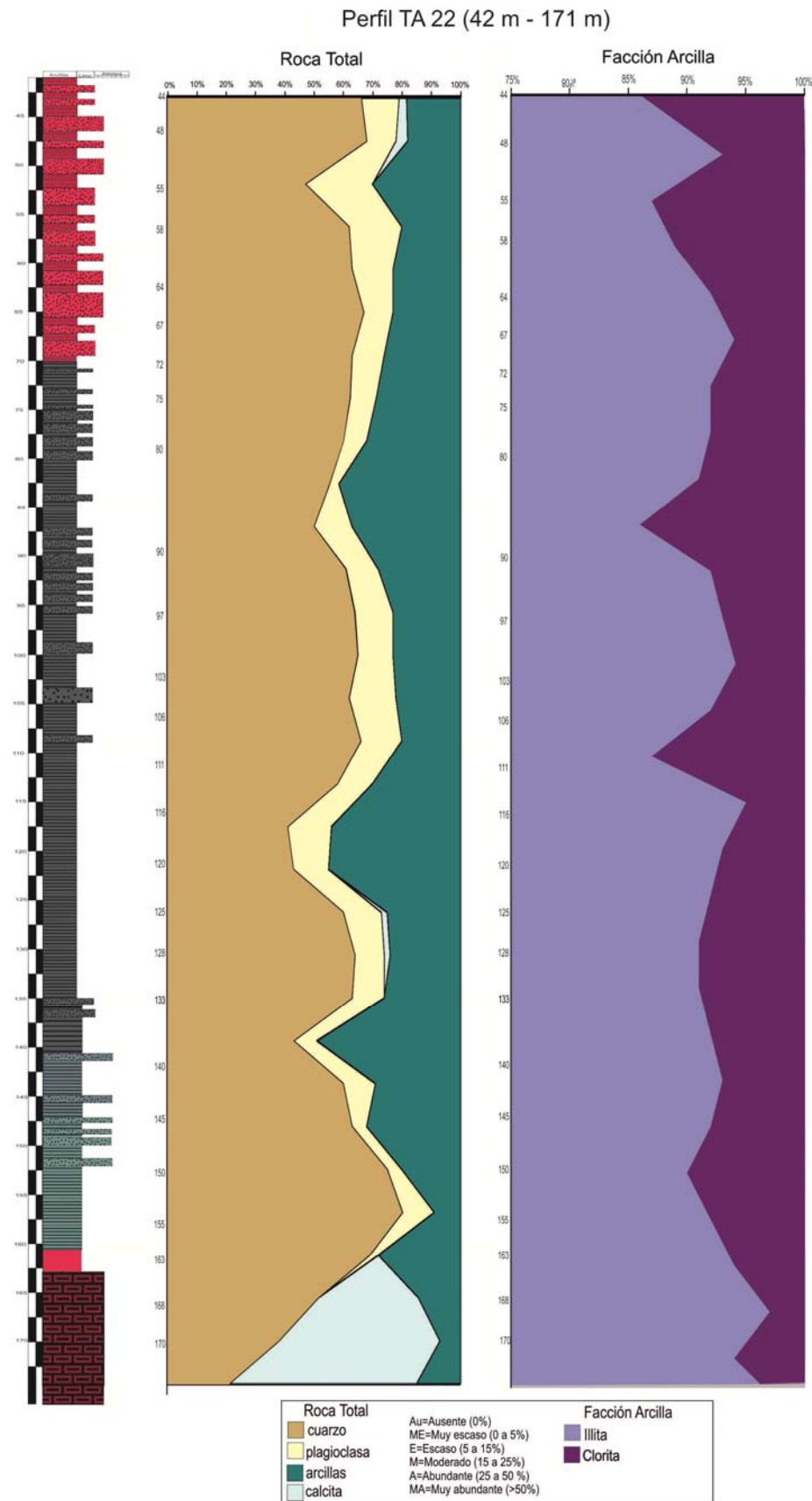


Figura IV.4.1: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción por Rayos X para el perfil TA 22 (Para referencias del perfil ver [Figura III.7](#))

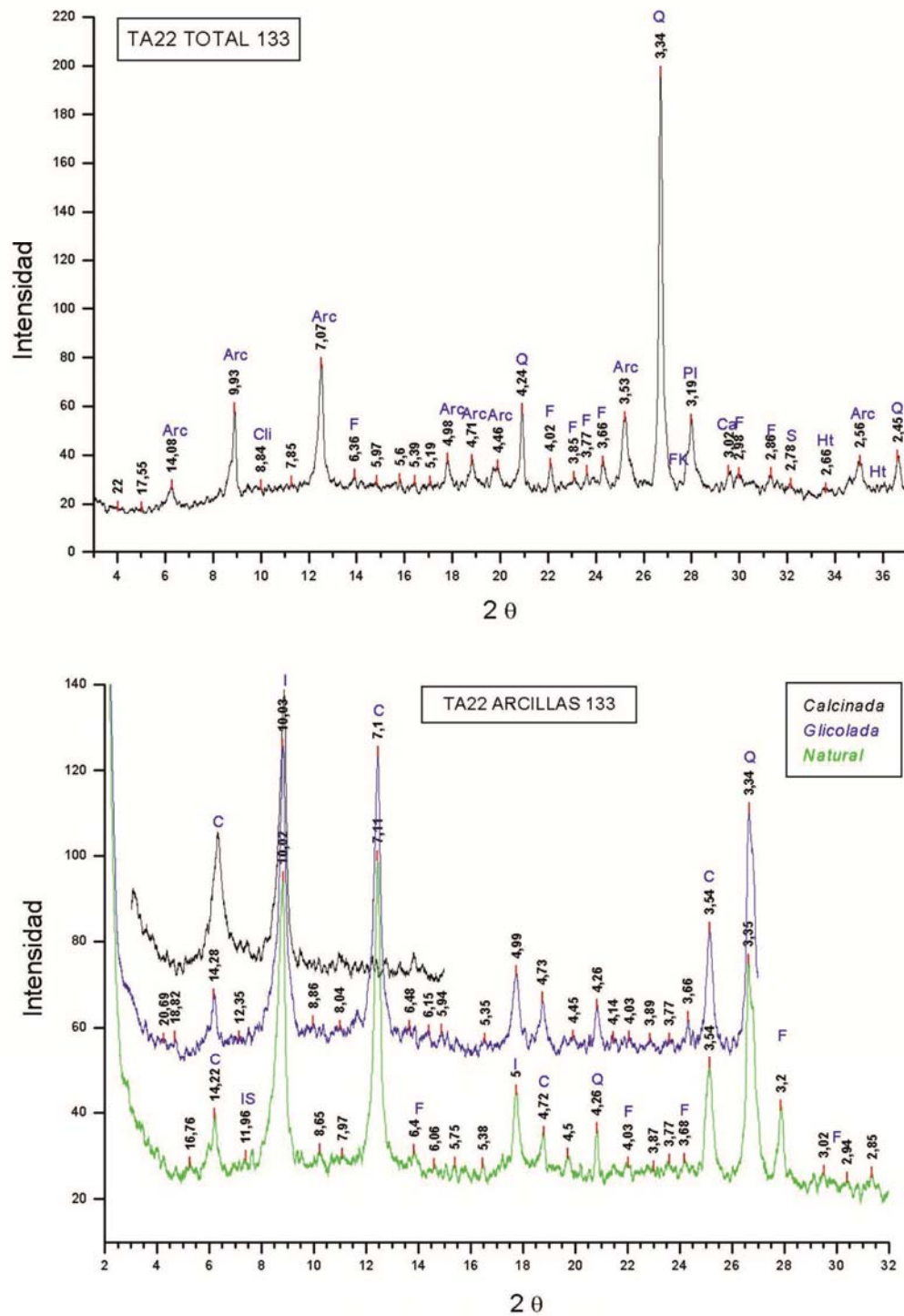


Figura IV.4.2: Difractogramas de rayos X, para las muestras correspondientes al perfil TA 22, metro 133. Arriba se observa el de roca total y abajo el de fracción fina para la misma muestra.

Perfil TA 23

En este perfil, se seleccionaron y analizaron un total de 38 muestras, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Para los análisis semicuantitativos en **roca total**, se puede observar que el cuarzo se presenta en proporciones abundantes a lo largo del todo el perfil. Los contenidos de arcillas, varían a lo largo del perfil, se comienza con proporciones que van entre 15% y 30%, para el metro 50 – 85, luego las mismas aumentan en proporción a valores que superan el 50 %, para el metro 85 – 90, disminuyendo este porcentaje a valores de entre 30 y 10 % en los metros finales del pozo. Los feldespatos se encuentran en porcentajes que varían entre el 15 y 10 %, siendo las plagioclasas las más abundantes y en menor proporción aparecen los feldespatos alcalinos.

De los análisis en **fracción fina**, se registra una fuerte predominancia de la illita, a lo largo de todo el perfil, en proporciones que varían entre los 95% y 75%, siendo la clorita el argilomineral que la segunda, presente en todas las muestras. Se destaca en los metros 100 al 106 una disminución de Illita y un aumento en la proporción de clorita. (Tabla IV.B). Es importante remarcar que en los primeros 7 metros del pozo se observa la presencia de Sm y de C/S pudiendo estar asociados a la meteorización de I y Cl, pero extremadamente leve.

A continuación, se presenta el perfil sedimentológico con las gráficas correspondientes a la distribución de las proporciones de los minerales reconocidos (Figura IV.4.3), luego se exponen dos difractogramas uno en roca total y el otro para la fracción fina; los dos correspondientes al metro 100,35 por ser el más representativo de todo el perfil (Figura IV.4.4).

Profundidad	Roca Total						Arcillas			
	Q	Feld		Carbonatos	Otros	Arc	I	IS	CS	Cl
		K	Pl	Ca						
TA 23 - 42,7	70	0	10	0	5	15	90	0	2	8
TA 23 - 44,2	70	0	15	0	5	15	85	1	2	12
TA 23 - 46,4	60	0	5	0	5	30	87	1	1	10
TA 23 - 47,5	60	0	5	0	5	30	89	1	1	9
TA 23 - 48,8	55	1	5	0	5	35	85	1	1	13
TA 23 - 50,9	75	1	5	0	5	14	87	0	0	13
TA 23 - 52,5	75	1	5	0	5	15	89	0	0	11
TA 23 - 53,8	80	1	5	0	5	10	92	0	0	8
TA 23 - 56,8	60	1	5	0	5	30	89	0	0	10
TA 23 - 59,4	85	1	5	0	5	4	88	0	0	12
TA 23 - 61,5	75	0	5	0	5	15	80	0	0	10
TA 23 - 63,4	70	0	5	0	5	20	90	0	0	10
TA 23 - 66,4	75	0	5	0	5	10	89	0	0	11
TA 23 - 67,2	75	0	5	0	5	15	86	0	0	14
TA 23 - 68,05	70	0	5	0	5	20	85	0	0	15
TA 23 - 70	50	0	5	0	5	40	84	0	0	18
TA 23 - 72,1	54	0	4	0	5	37	90	0	0	10
TA 23 - 74,05	60	0	5	0	5	30	89	0	0	11
TA 23 - 75,67	65	0	5	0	5	25	85	0	0	15
TA 23 - 79,7	63	0	5	0	5	27	86	0	0	14
TA 23 - 82,64	70	0	5	0	5	20	83	0	0	17
TA 23 - 84,3	65	0	5	0	5	25	85	0	0	15
TA 23 - 86,25	68	0	5	2	5	20	85	0	0	15
TA 23 - 86,95	70	0	5	0	5	20	86	0	0	14
TA 23 - 88,14	75	0	5	0	5	15	90	0	0	10
TA 23 - 91,35	55	0	5	0	5	35	87	0	0	13
TA 23 - 93,4	59	0	6	0	5	30	83	0	0	17
TA 23 - 94,9	60	0	0	0	5	35	85	0	0	15
TA 23 - 96,4	50	0	5	0	5	40	80	0	0	20
TA 23 - 98,4	55	0	5	0	5	35	82	0	0	18
TA 23 - 100,35	40	0	5	0	5	50	70	0	0	30
TA 23 - 101,76	55	0	5	0	5	35	72	0	0	28
TA 23 - 103,15	58	0	5	0	5	32	75	0	0	25
TA 23 - 106,35	75	0	5	0	5	15	82	0	0	18
TA 23 - 108,7	60	0	5	5	5	25	90	0	0	10
TA 23 - 110,15	70	0	5	0	5	20	90	0	0	10
TA 23 - 112,45	85	0	5	0	5	5	88	0	0	12
TA 23 - 115,2	80	0	10	0	5	5	94	0	0	6

Tabla 4.B: Datos composicionales Perfil TA 23, Yacimiento Alicia, a partir de la difracción de rayos X. Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita; Arc: arcillas, I: illita, IS: interestratificados illita/esmectita. C/S: clorita – esmectita. , Cl: clorita.

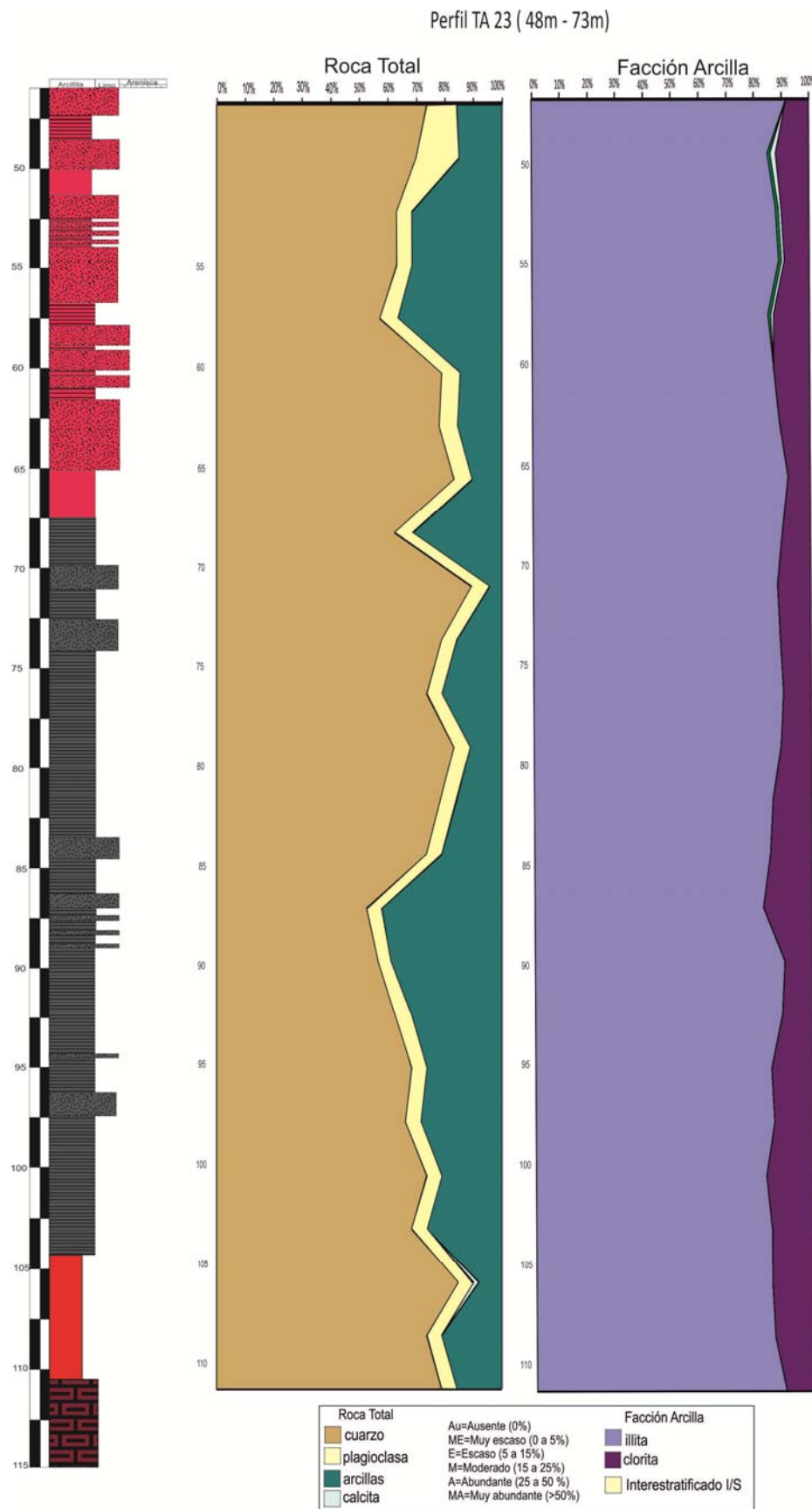


Figura IV.4.3: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la disfracción por rayos X para el perfil TA 23 (Para referencias del perfil ver Figura III.8)

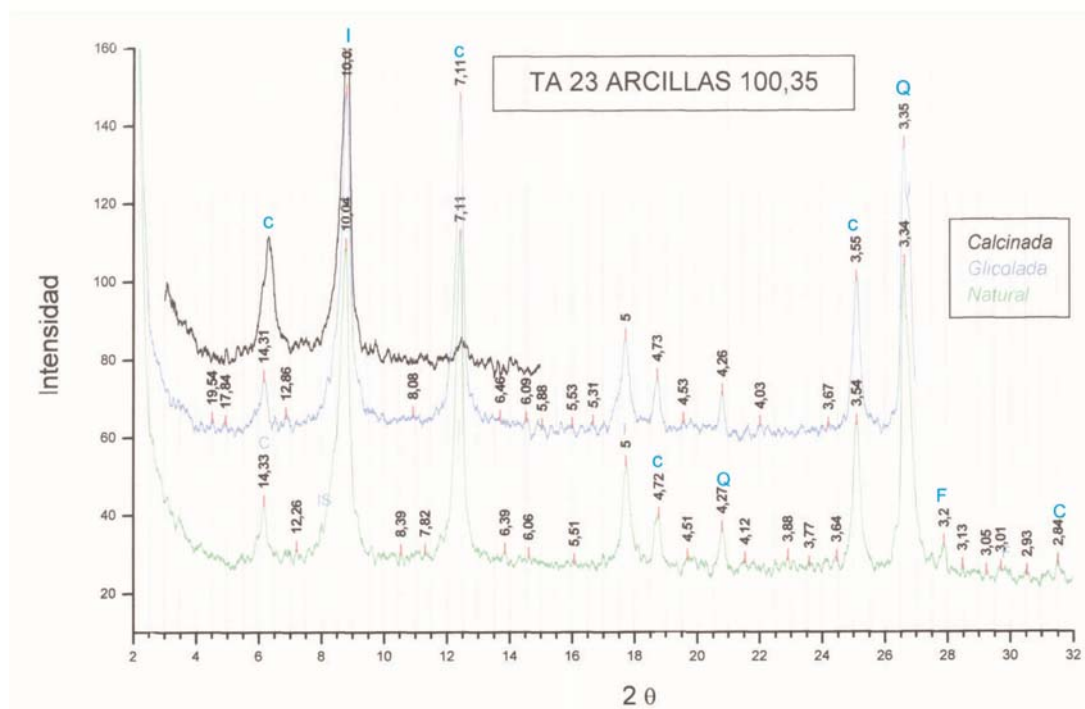
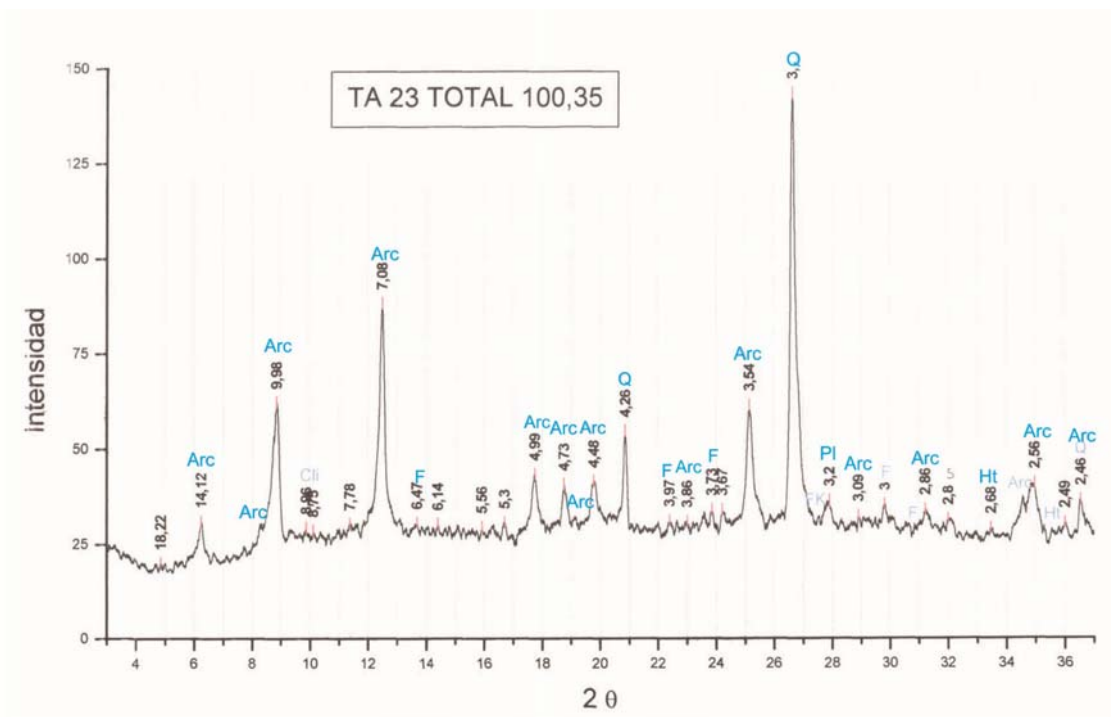


Figura IV.4.4: Difractogramas de rayos X, para las muestras correspondientes al perfil TA 23, metro 100,35. Arriba se observa los resultados en roca total, abajo se observa el resultado de la fracción fina para la misma muestra.

Perfil TA 27

En esta sección se analizaron un total de 20 muestras, de las cuales se obtuvieron siguientes resultados:

Al igual que las muestras anteriores los análisis semicuantitativos de **roca total** muestran un alto porcentaje de cuarzo a lo largo del todo el perfil. Los contenidos de arcillas son variables siendo en general más abundantes entre los metros 54 al 72 con porcentajes que varían entre los 15 y 35%. Las plagioclasas son relativamente moderadas en los primeros metros del perfil donde alcanzan hasta un 15%, mientras que hacia la parte media e inferior prácticamente están ausentes. En los análisis de la **fracción fina**, la illita es el argilomineral predominante (75%-85%), disminuyendo en los últimos metros (69 al 74) a 65 % y como consecuencia aumenta el porcentajes de clorita que en la sección superior era de 10 y 15%, y llega a 30 % hacia la base del perfil (Tabla 4.C). Los perfiles junto con las gráficas de porcentajes de DRX muestran claramente lo expuesto en el párrafo anterior (Figura IV.4.5). La presencia de Sm y de C/S se observa en bajas proporciones (no superan el 5%) a lo largo del todo el perfil, lo cual como se mencionó para el perfil TA 23 podría significar una leve meteorización de los argilominerales de illita y clorita.

A continuación, se muestra la tabla con los datos composicionales, el perfil sedimentológico TA 27 con las gráficas correspondientes a la distribución de las proporciones de los minerales reconocidos (Figura IV.4.5), luego se presentan dos difractogramas correspondientes al metro 54,65, uno en roca total y el otro para la fracción fina (Figura IV.4.6).

Profundidad	Roca Total					Arcillas			
	Q	Pl	Carbonato	Otros	Arc	I	Sm	CS	Cl
			Ca						
TA 27 - 34,26	80	5	0	5	10	75	0	0	15
TA 27 - 38,1	55	15	0	5	25	80	5	0	5
TA 27 - 39,9	70	5	0	5	50	80	3	5	12
TA 27 - 41,9	65	5	0	5	25	85	0	5	10
TA 27 - 44,6	65	2	0	5	28	75	5	5	15
TA 27 - 52,2	64	1	0	5	30	75	0	0	15
TA 27 - 54,65	37	3	0	5	55	78	0	2	20
TA 27 - 56,25	70	0	0	5	25	80	0	5	15
TA 27 - 60,35	60	3	0	5	32	81	0	2	17
TA 27 - 61,8	65	1	0	5	29	75	0	0	25
TA 27 - 63,1	64	1	0	5	30	75	0	2	13
TA 27 - 63,3	60	1	0	5	34	75	0	0	25
TA 27 - 64,5	65	1	0	5	29	75	0	0	25
TA 27 - 65,3	60	0	0	5	35	80	0	0	20
TA 27 - 67,2	65	1	0	5	29	85	0	0	15
TA 27 - 69,5	65	0	0	5	30	70	0	2	28
TA 27 - 71,1	64	1	0	5	30	75	0	3	25
TA 27 - 73,1	70	0	0	5	25	65	0	1	34
TA 27 - 73,8	60	0	25	5	10	67	0	1	32
TA 27 - 74,4	65	0	20	5	10	69	0	1	30

Tabla 4.C: Datos composicionales a partir de la difracción de rayos X. Perfil TA 27, Yacimiento Alicia, Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita; Arc: arcillas. Referencias para Fracción fina: I: illita, Sm: esmectita, CS: interestratificado clorita / esmectita; Cl: clorita.

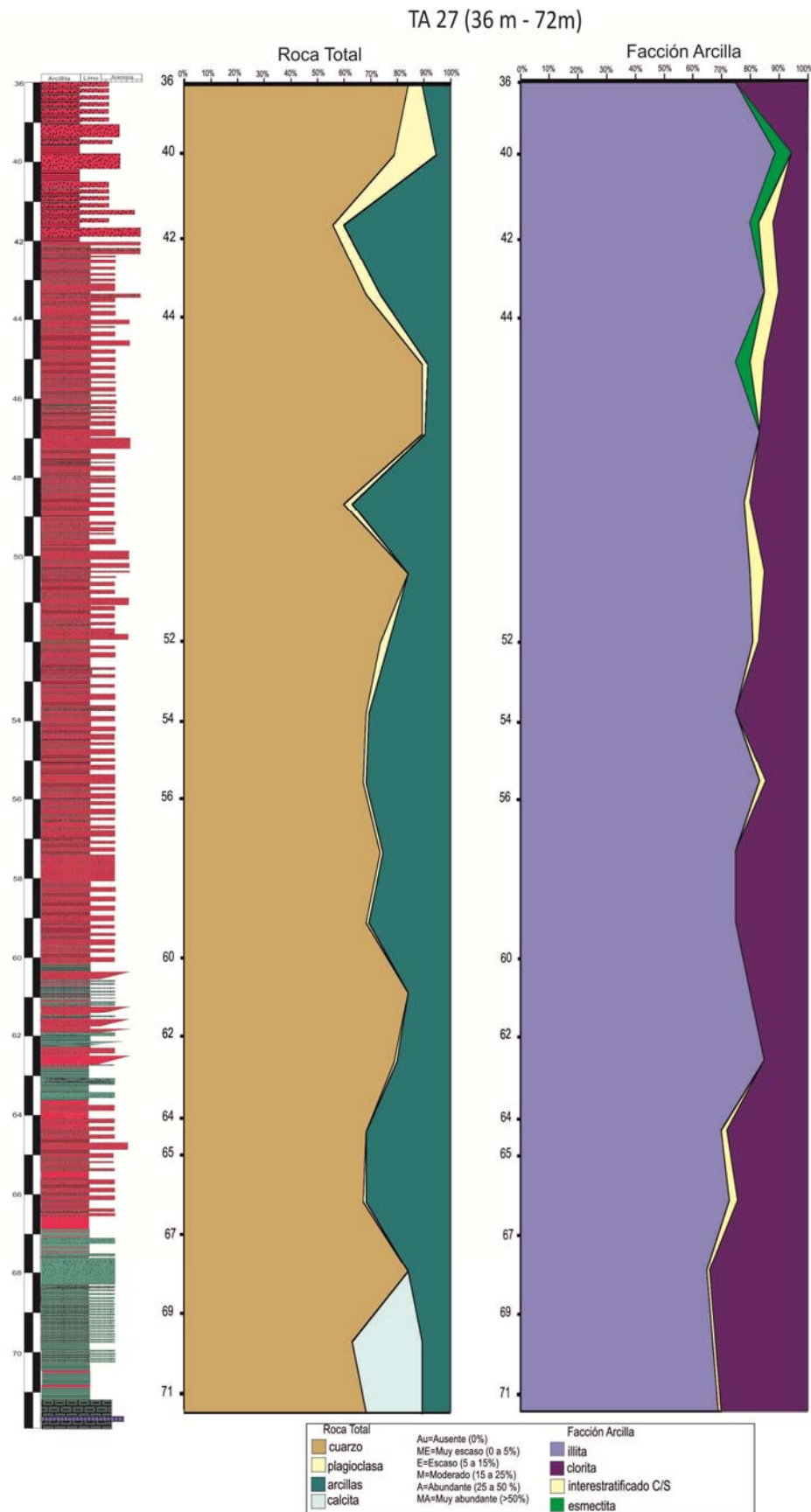


Figura IV.4.5: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción por Rayos X para el perfil TA 27 (Para referencias del perfil ver [Figura III.9](#))

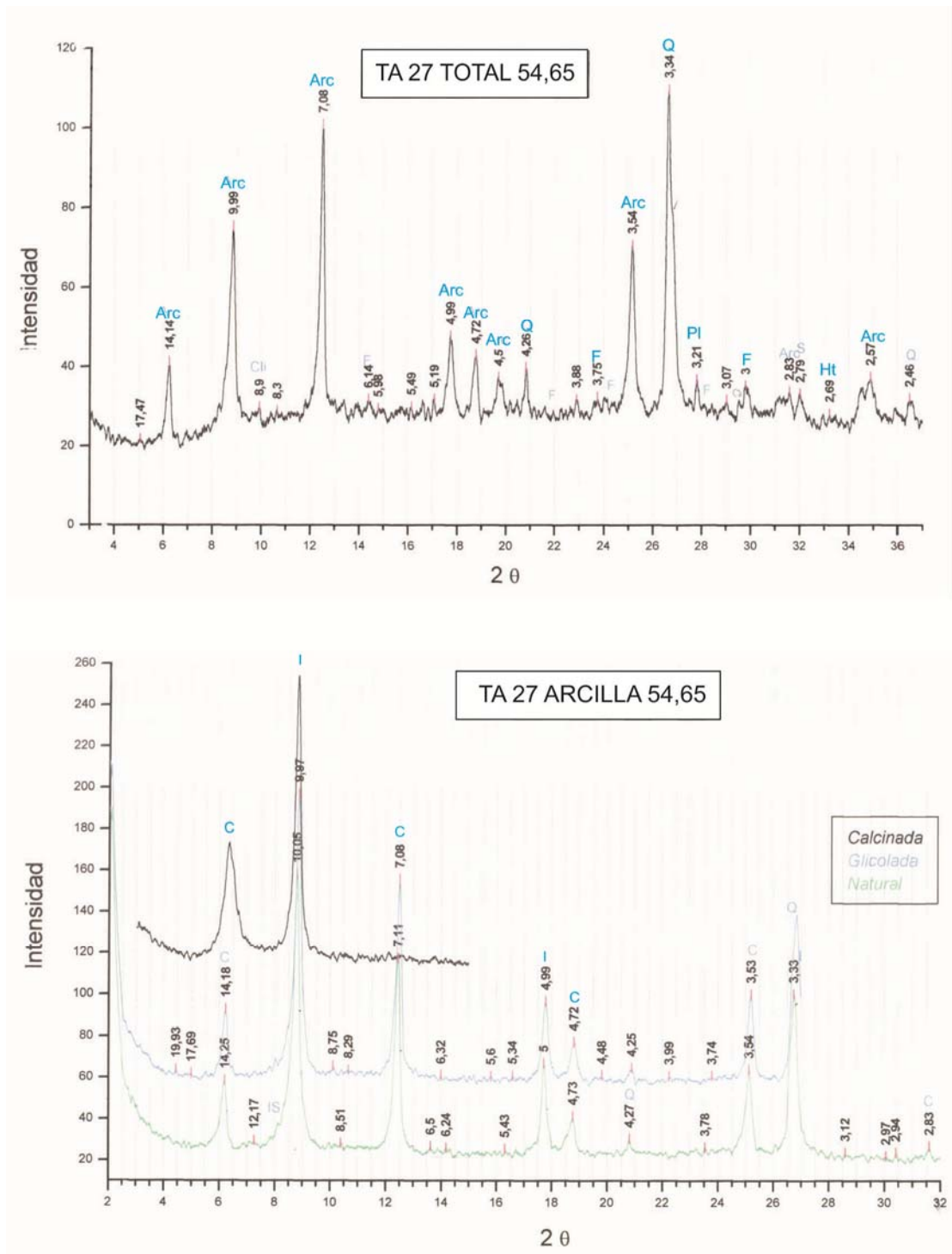


Figura IV.4.6: Difractogramas de rayos X para las muestras correspondientes al perfil TA 27, metro 54. Arriba se observa los resultados en roca total. En el grafico inferior se observa los resultados en fracción fina para la misma muestra.

Perfil TCA 2

En este perfil, se analizaron un total de 15 muestras que van del metro 48 al metro 101.3, todas ellas corresponden a lutitas negras. Se presenta una tabla con los datos composicionales (Tabla IV.4.D) y el perfil sedimentológico con las gráficas correspondientes a la distribución de las proporciones de los minerales reconocidos (Figura IV.4.7).

Como se puede observar en la tabla IV 4.D, el cuarzo se mantiene en proporciones que van de 60 a 80% a lo largo de todo el perfil con excepción de una muestra en la sección inferior con sólo 30% que corresponde a una muestra con mayor proporción de carbonato o sea de tipo margosa, Las proporciones de carbonatos son nulas hasta el metro 101.3 llegando a 60%, evidenciando la presencia de material margoso. Con los minerales de arcilla ocurre que en la base del perfil tienen un porcentaje que van de 5 a 15 %, en la parte media llegan a porcentajes del 35%, y al techo disminuye hasta llegar a porcentajes menores al 15%. La illita es el mineral de arcilla predominante, disminuyendo considerablemente en los metros 89 al 69, donde la clorita se hace más abundante llegando a porcentajes de 45%. La esmectita está presente en los primeros 32 metros en porcentajes que no superan el 5 %, vuelve a aparecer en el metro 95,7 solo en un 2 %. En la Figura IV.4.8 se presentan dos difractogramas correspondientes al metro 88,7, uno en roca total y el otro para la fracción fina.

Profundidad	Roca Total						Arcillas			
	Q	Feld		Carbonato	Otros	Arc	I	Sm	CS	Cl
		K	Pl	Ca						
TCA 2 - 48,5	80	0	12	0	5	3	80	5	0	15
TCA 2 - 52,2	70	0	13	0	5	12	75	5	0	20
TCA 2 - 57,35	65	2	16	0	5	12	75	5	5	15
TCA 2 - 63,15	60	0	18	0	5	17	80	5	5	10
TCA 2 - 67,1	70	0	10	0	5	15	70	5	5	20
TCA 2 - 69,7	60	0	7	7	5	21	65	0	5	30
TCA 2 - 75	68	0	5	0	5	22	65	3	0	32
TCA 2 - 79,7	76	0	3	0	5	21	63	3	0	34
TCA 2 - 82,25	60	0	10	0	5	25	65	0	5	35
TCA 2 - 86,9	55	0	10	0	5	30	70	0	5	55
TCA 2 - 88,7	45	0	15	0	5	35	55	0	0	45
TCA 2 - 92,5	55	0	20	0	5	20	65	0	5	30
TCA 2 - 94,1	65	0	15	0	5	15	70	0	0	30
TCA 2 - 95,7	75	0	5	0	5	15	65	2	0	33
TCA 2 - 101,3	30	0	0	60	5	5	75	0	0	25

Tabla 4.D: Datos composicionales a partir de la Difracción de rayos X, Perfil TCA2, Yacimiento Alicia.
Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita; Arc: arcillas.
Referencias para Fracción fina: I: illita, Sm: esmectita,
CS: interestratificados clorita /esmectita, Cl: clorita.

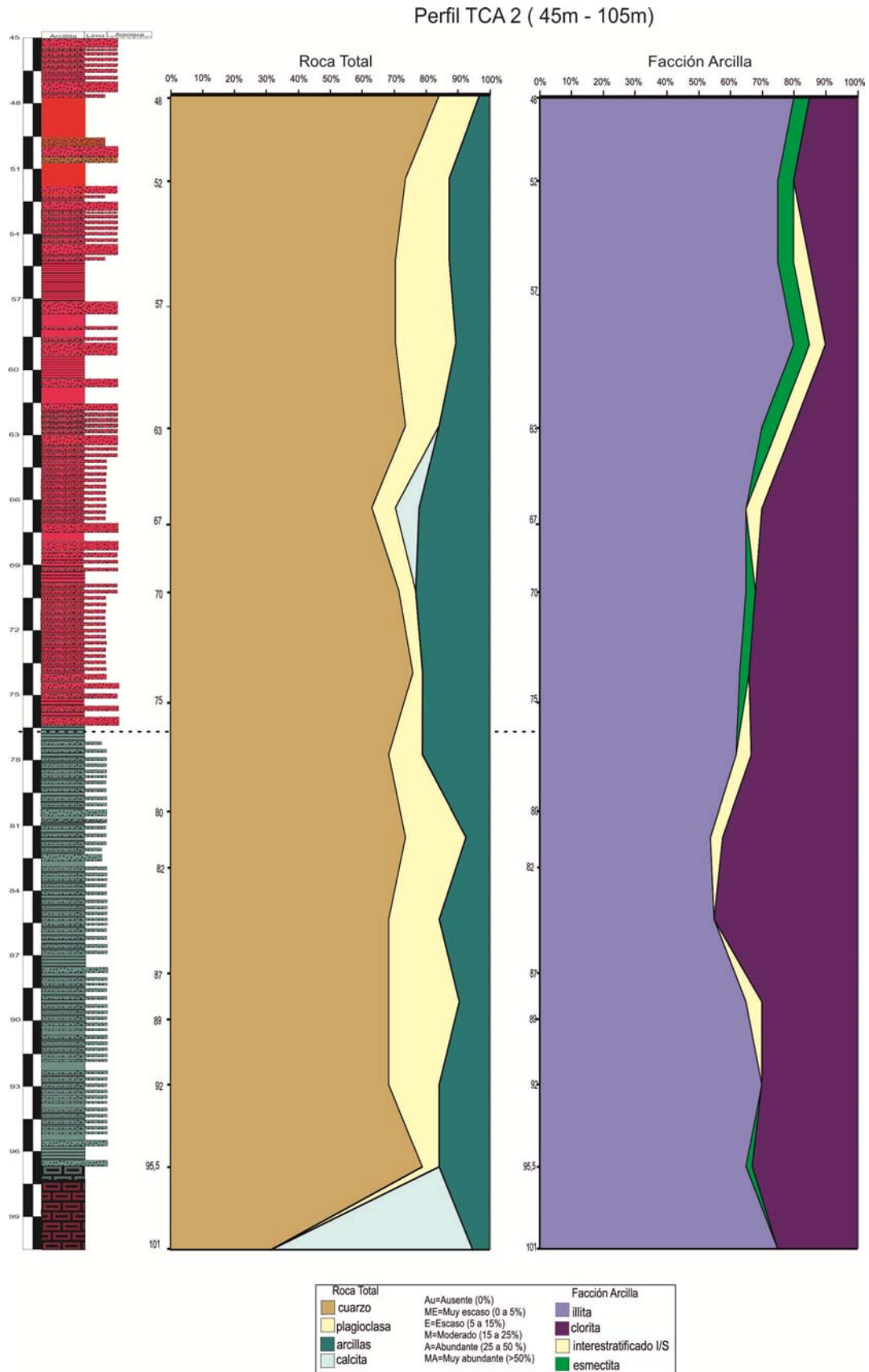


Figura IV.4.7: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción por rayos X para el perfil TCA 2 (Para referencias del perfil ver [Figura III.10](#)).

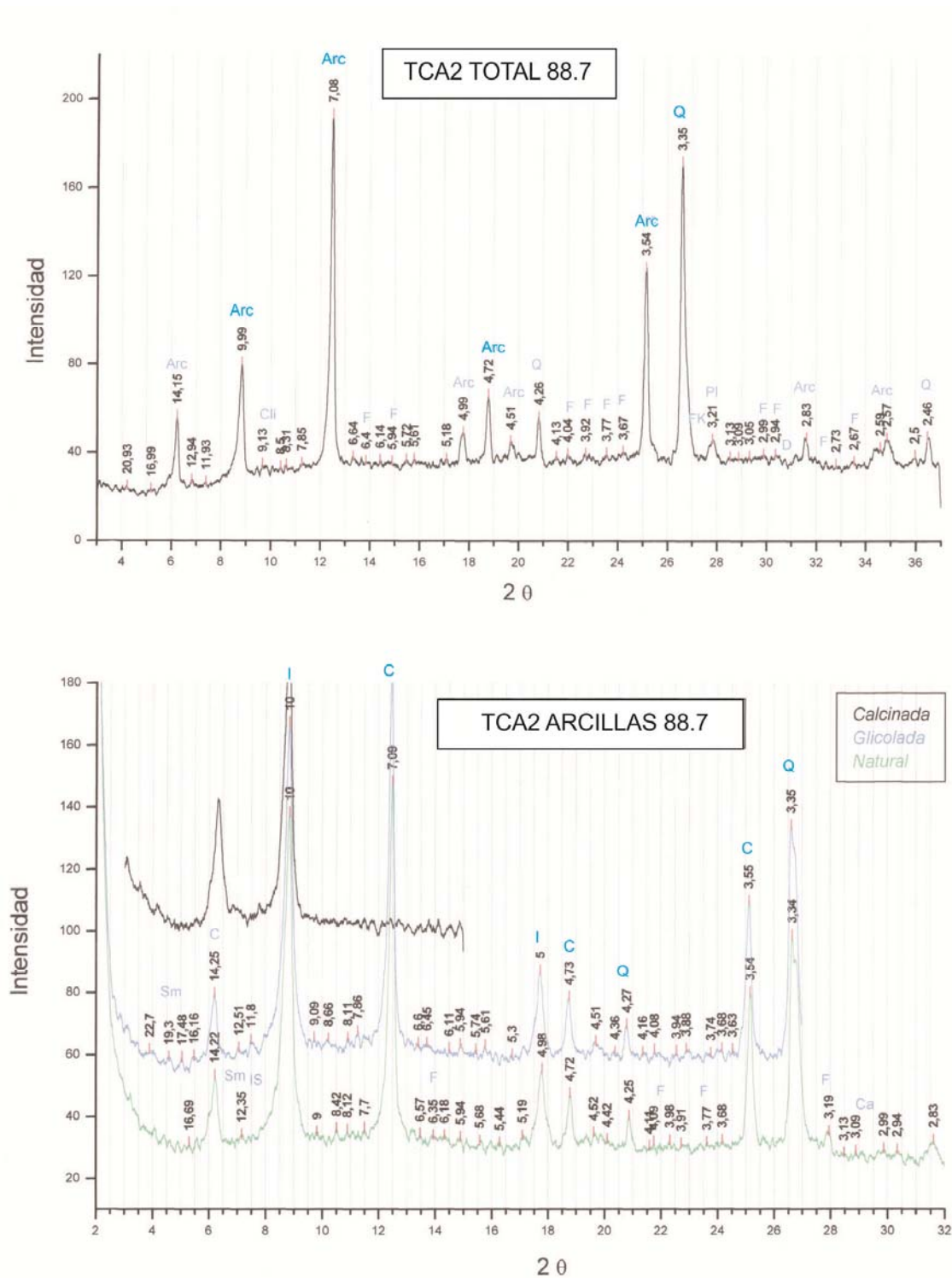


Figura IV.4.8: Difractogramas de rayos X para las muestras correspondientes al perfil TCA 2, metro 88,7. El difractograma de roca total muestra un importante pico de arcilla, acompañada por abundante cuarzo. En el gráfico de la fracción fina, las arcillas que predominan son la illita y clorita.

Perfil TCA 3

En esta sección se analizaron, un total de 9 muestras, de las cuales 4 corresponden a arcillitas rojas y las 5 restantes a lutitas negras.

En la [tabla IV 4 E](#), se observan porcentajes de las diferentes especies minerales, de base a techo, el cuarzo, varía entre 70 y 65 %. La proporción de minerales de arcilla en la roca total varía entre los 10 y 20 %, el porcentaje de calcita llega a un 10%, por ejemplo en el metro 61 ([Figura IV.4.9](#)). La illita es el mineral de arcilla predominante, con porcentajes que van desde los 60 a los 75%; La Sm se presenta en valores del 10% en los metros 44 a 65, en estos metros la presencia de IS y CS llegan a valores del 10 %. En el metro 65 se observa una fuerte caída en la variación de los tipos de argilominerales presentes, desapareciendo abruptamente la esmectita, los interestratificados de illita/esmectita y los interestratificados de clorita/esmectita y aumentando considerablemente los porcentajes de clorita, llegando en los metros 84 al 86 a porcentajes que varían entre 30 y 40 % ([Figura IV.4.9](#)).

En la [Figura IV.4.10](#) se presentan los difractogramas correspondientes al metro 69.

Profundidad	Roca Total						Arcillas				
	Q	Feld		Carbonat	Otros	Arc	I	Sm	IS	CS	Cl
		K	Pl	Ca							
TCA 3 - 43,9	65	3	12	0	5	14	75	10	0	0	15
TCA 3 - 46,4	75	5	5	0	5	10	65	10	5	5	15
TCA 3 - 48,65	75	0	10	0	5	10	65	10	5	5	15
TCA 3 - 52,1	75	2	3	0	5	15	50	10	10	10	10
TCA 3 - 61	70	0	5	10	5	10	60	10	10	10	10
TCA 3 - 64,3	70	0	0	0	5	20	66	11	5	11	11
TCA 3 - 69	75	5	0	5	5	10	75	0	5	0	20
TCA 3 - 84,4	65	0	10	0	5	20	65	0	0	0	35
TCA 3 - 86	65	0	10	0	5	20	60	0	0	0	40

Tabla 4.E: Datos composicionales a partir de la Difracción de Rayos X. Perfil TCA 3, Yacimiento Alicia, Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasa; Ca: calcita; Arc: arcillas. Referencias para Fracción fina: I: illita, Sm: esmectita, IS: interestratificados illita/esmectita, CS: interestratificados clorita/esmectita, Cl: clorita.

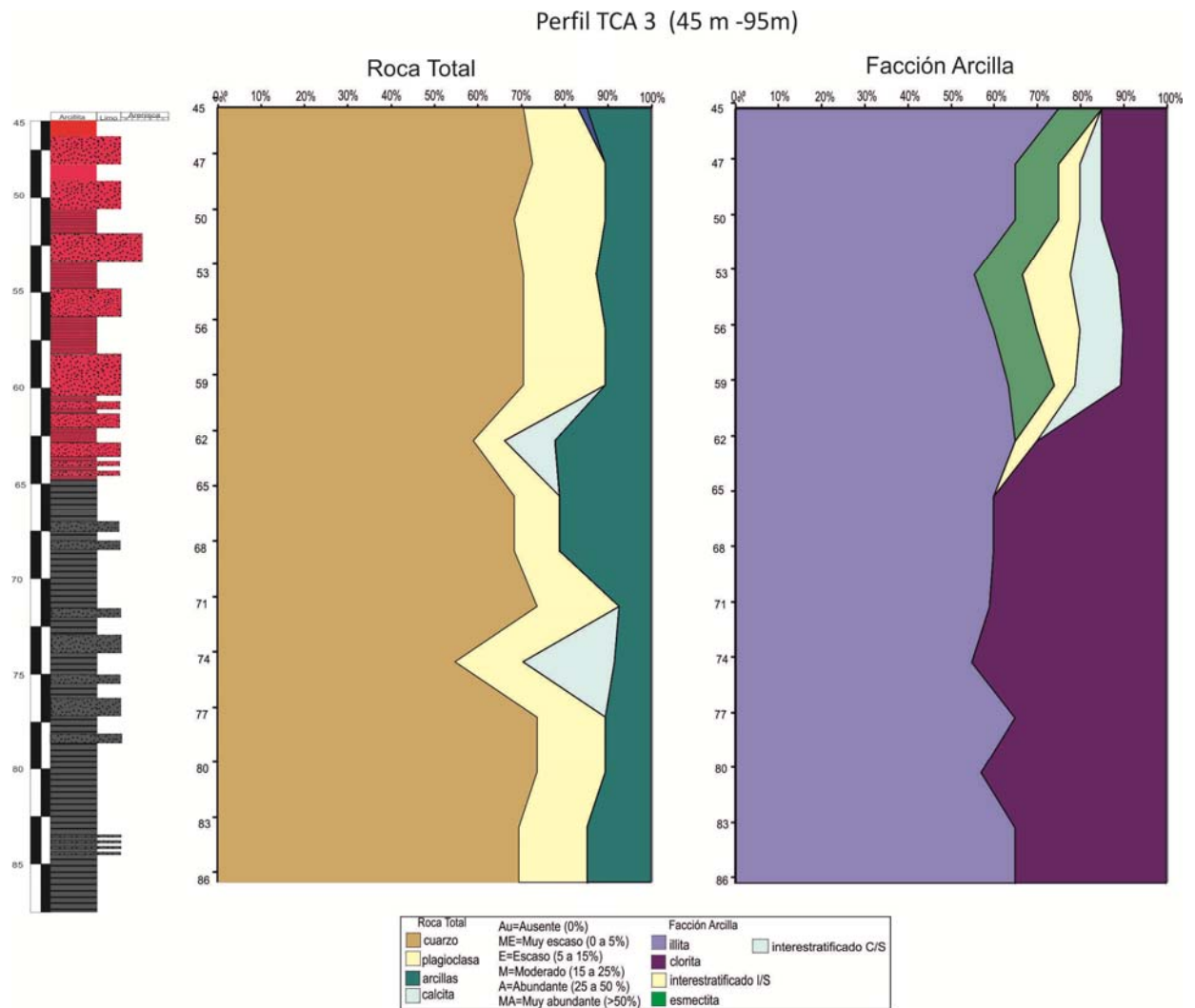


Figura IV.4.9: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción de rayos X para el perfil TCA 3 (Para referencias del perfil ver [Figura III.11](#)).

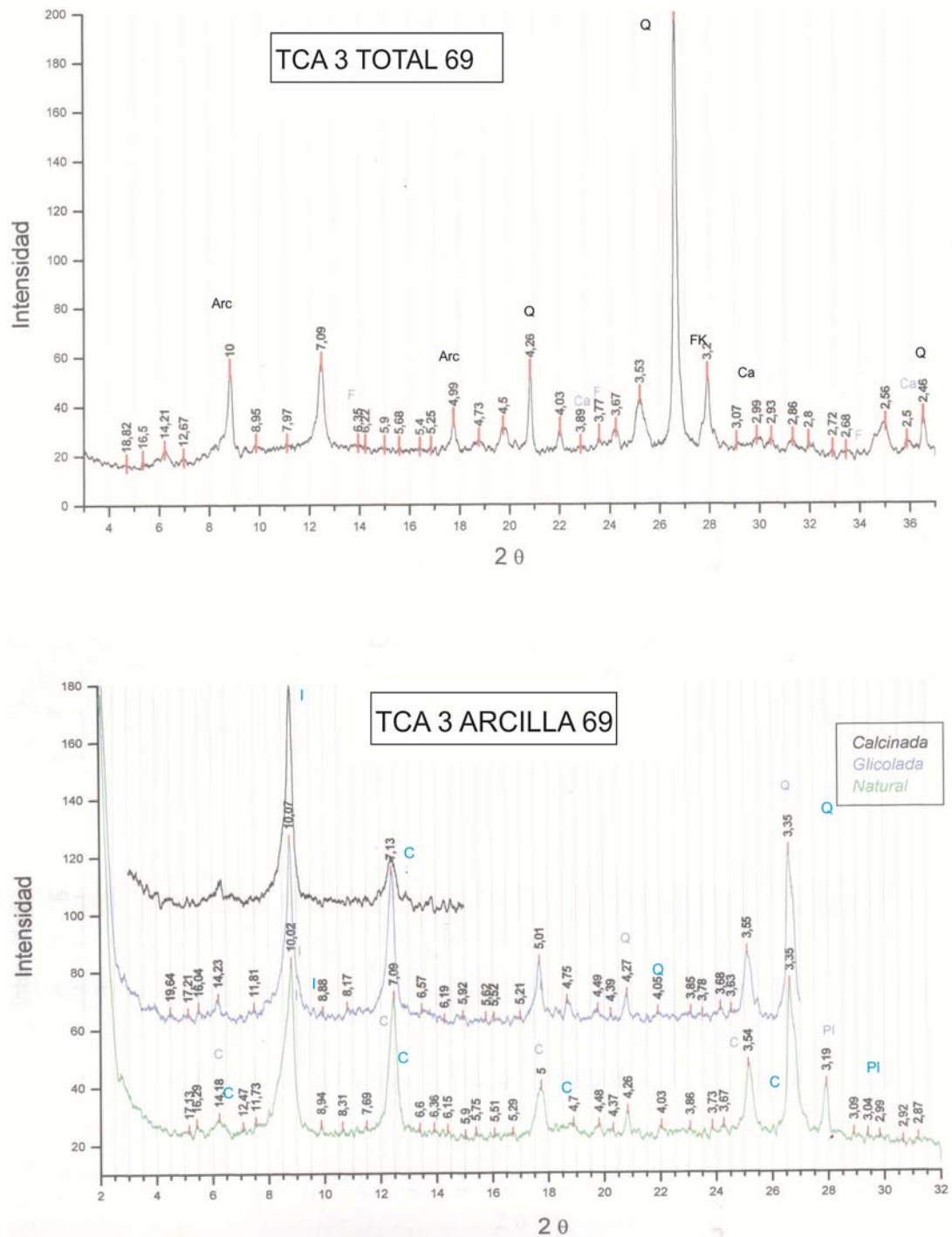


Figura IV.4.10: Difractogramas de rayos X para las muestras correspondientes al perfil TCA 3, metro 69. Arriba se observa los resultados en roca total. En el gráfico inferior se observa los resultados en fracción fina para la misma muestra.

IV.5 Yacimiento La Cabañita

Como se citara anteriormente, el perfil elegido para realizar el análisis por Difracción de Rayos X es: TSE 34, por ser con el único que se contó, al momento de realizar los análisis.

IV.5.1 Análisis de roca total y fracción fina

Perfil TSE 34

Se analizaron un total de 18 muestras, las cuales arrojan resultados de base a techo (Tabla 5.A). En los niveles inferiores se observan 2 muestras con calcita entre 35-55 %, la cual desaparece por completo hacia el metro 74, a partir de ese nivel aumenta considerablemente el contenido de cuarzo que varía entre los 63 y 85 % (Figura IV.5.1); Pasando de una secuencia margosa a una secuencia netamente silicoclástica, temática que será discutida más adelante. Las plagioclasas tienen una participación relativamente constante a lo largo de los metros 74 al 16, que varía de 5 a 10% %. En la fracción fina, la illita es el mineral de arcilla más abundante variando entre valores mínimos de 70 % a máximos que llegan al 90 %. La clorita entre los metros 74 y 32 se encuentra en proporciones que van de 15 a 28 %. Mientras que en el tope está ausente. En los primeros 8 metros del tope la Sm se encuentra en proporciones que llegan al 12% y los interestratificados de IS se hacen presentes en el tope del perfil con valores que van entre los 3 a 10 %; en la parte media del perfil en los metros 48 – 60 hay presencia de IS en porcentajes que no superan el 3%. Para la base del perfil en los metros 78 – 80 vuelven a aparecer los interestratificados de IS (7% - 10%) lo cual coincide con altos porcentajes de calcita.

A continuación se muestra la tabla con los datos composicionales, el perfil sedimentológico con las gráficas correspondientes a la distribución de las proporciones de los minerales reconocidos (Figura IV.5.1), luego se presentan dos difractogramas correspondiente al metro 20, uno en roca total y el otro para la fracción fina (Figura IV.5.2).

Profundidad	Roca Total						Arcillas			
	Q	Feld		Carbonat	Ot	Arc	I	Sm	IS	Cl
		K	Pl	Ca						
TSE 34-16	79	0	9	0	5	7	80	12	8	0
TSE 34-20	80	0	8	0	5	7	85	8	7	0
TSE 34-24	85	0	5	0	5	5	82	12	6	0
TSE 34-28	81	2	7	0	5	5	80	2	10	8
TSE 34-32	70	0	8	0	5	15	75	0	3	22
TSE 34-36	71	0	6	0	5	18	73	0	2	25
TSE 34-40	75	0	10	0	5	10	75	0	3	22
TSE 34-44	70	0	7	0	5	18	75	0	0	25
TSE 34-48	75	0	10	0	5	10	70	0	2	28
TSE 34-52	78	0	8	0	5	9	78	0	3	19
TSE 34-56	72	0	8	0	5	15	75	0	4	21
TSE 34-60	70	0	7	0	5	18	70	0	3	27
TSE 34-64	75	0	6	0	5	14	72	0	0	28
TSE 34-68	63	0	10	0	5	22	75	0	0	25
TSE 34-72	67	0	8	0	5	20	72	0	0	28
TSE 34-74	75	0	6	0	5	14	80	0	0	20
TSE 34-78	50	0	0	35	5	10	85	0	10	5
TSE 34-80	35	0	0	55	5	5	90	0	7	3

Tabla 5A: Datos composicionales por Difracción de rayos X. Perfil TSE 34, Yacimiento La Cabañita, Referencias para Roca Total: Q: cuarzo; K: feldespato potásico; P: plagioclasas; Ca: calcita, ot: otros Arc: arcillas.

Referencias para-Fracción Fina: I: illita, Sm: esmectita, IS: interestartificados illita esmetita, Cl: clorita.

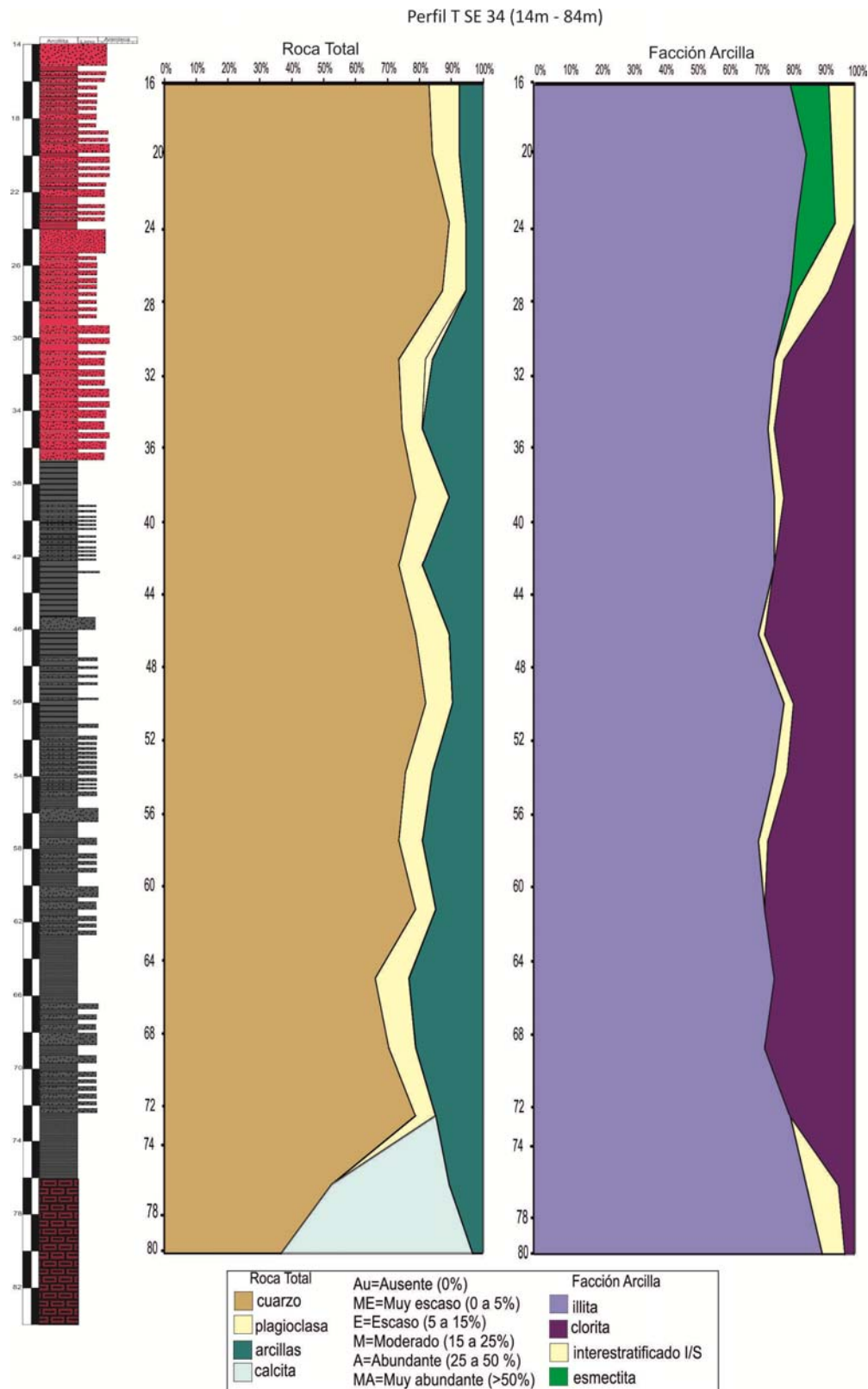


Figura IV.5.1: Distribución de los datos composicionales reconocidos a partir de la Difracción por rayos X para el perfil TSE 34 (Para referencias del perfil ver [Figura III.16](#))

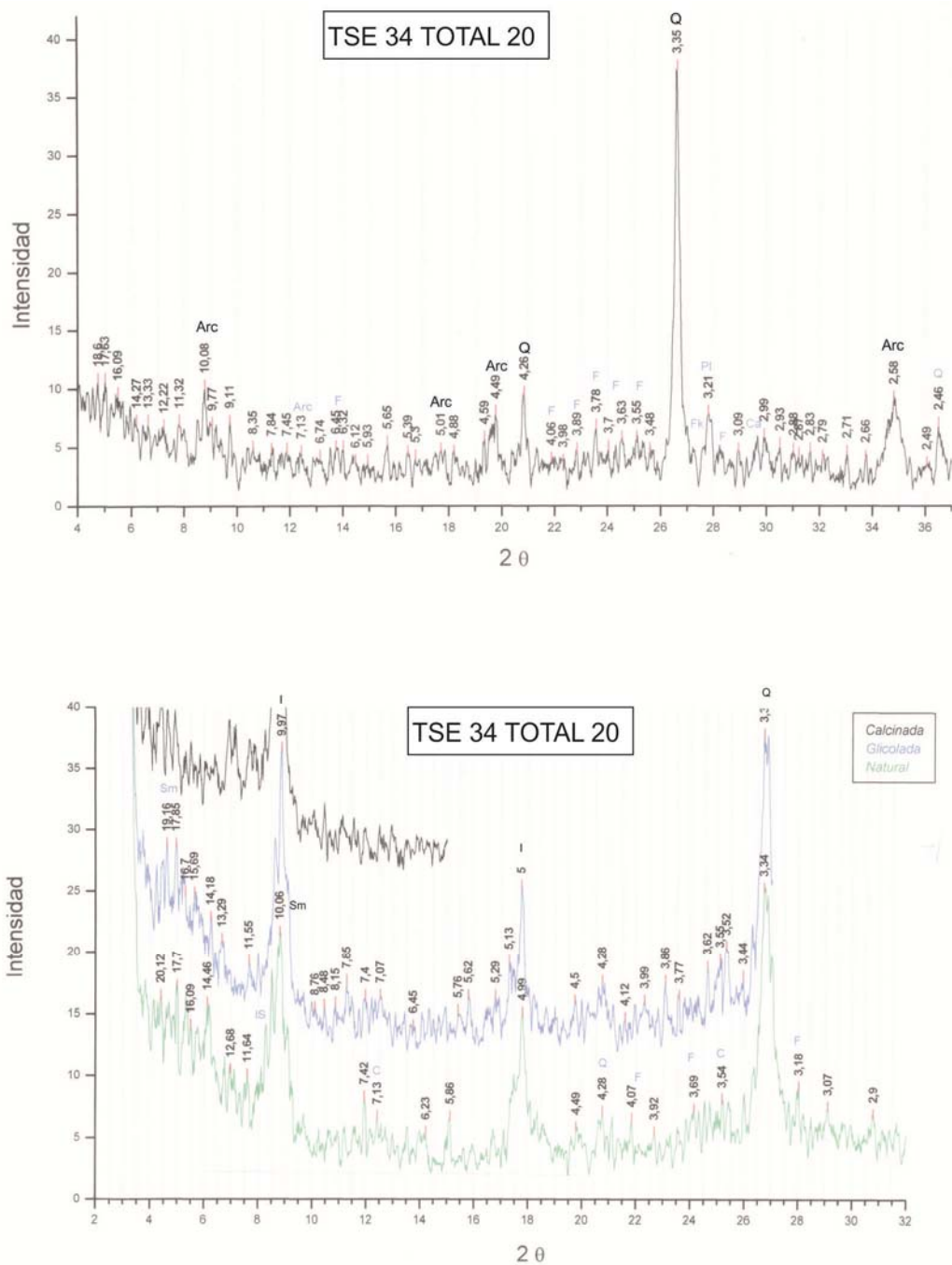


Figura IV.5.2: Difractogramas de DRX para las muestras correspondientes al perfil TSE 34, metro 20. Arriba se observa los resultados en roca total. En el grafico inferior se observa los resultados en fracción fina.

De la integración de toda la información obtenida de la descripción minuciosa de los perfiles que fueron presentados, permitió obtener conclusiones (tendencias verticales y regionales) interesantes que serán abordadas al final de este capítulo.

IV.6. Geotermómetros (índices de cristalinidad)

Un punto importante en la generación de illita y clorita, se da en el último estadio de la diagénesis donde se da inicio al anquimetamorfismo. El anquimetamorfismo o la anquizona, es conocida como la zona de transición entre la diagénesis y el metamorfismo de muy bajo grado (Kisch, 1983; Frey 1987a) estimulando a que todos los interestratificados sean reemplazados por illita y clorita y en algunos casos por pirofilita, biotita, sericita y paragonita (Galán, 2006).

El ordenamiento cristalino de los minerales de arcilla, aumenta con la temperatura y la presión. De hecho, la cristalinidad de la illita se utiliza comúnmente como geotermómetro y geobarómetro en el estudio de las cuencas sedimentarias (Polastro, 1993).

Se hace referencia a la "Cristalinidad" como un término cualitativo que depende del tipo de orden (o desorden), la naturaleza tridimensional de la periodicidad presente, y de la técnica involucrada en su medición (Kubler, 1967; 1968).

La transición de la zona de diagénesis a la anquizona, ocurre a alrededor de los 200° C (Frey y Robinson, 1987). Estas estimaciones de temperatura se basan en gran medida en las correlaciones derivadas en diferentes cuencas, con característica de flujo de calor normal donde el gradiente geotérmico es de 25-30°C por km de profundidad. La Figura IV.6 muestra una tendencia directamente proporcional de un aumento en la cristalinidad de la illita a medida que va aumentando la temperatura.

Es importante remarcar que, además de lo expuesto anteriormente, la compactación de los minerales de la arcilla durante el enterramiento producen una fisilidad muy característica en las rocas lutíticas y una marcada pérdida de la porosidad durante el enterramiento (> al 75%, Thompson, 1979).

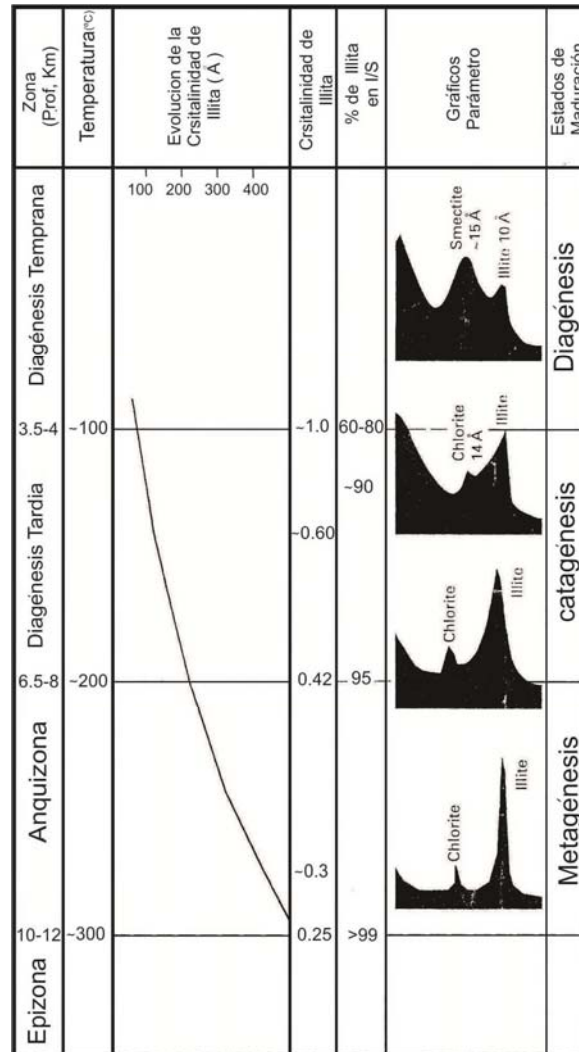


Figura IV.6: Grafica que muestra los procesos de maduración de la esmectita-illita-clorita en una cuenca patrón. (Horsfield y Rulkotter, 1994; modificado de Frey y Robinson, 1987).

IV.6.1 Índices de cristalinidad de illita e índice de Esquevin

Teniendo en cuenta que la illita es muy abundante en las litologías estudiadas en este trabajo, se llevó a cabo el cálculo de los índices cristalinidad de la illita (IC) y el Índice de Esquevin (IE) para luego ser graficados en el clásico diagrama de Esquevin (1969), que permite observar, en el caso de que las arcillas sean autigénicas, si las mismas poseen valores dentro del campo de la diagénesis, anquizona o metamorfismo y si son de naturaleza aluminosa, ferromagnesiana o de composición intermedia.

En la **Figura IV.6.1** se muestra la distribución de los valores obtenidos del índice de cristalinidad de la Illita versus el Índice de Esquevin de las muestras tomadas de los perfiles TA 22, TA 27, TA 23, perfil cantera el Polvorín y TSE 34. Es importante señalar que las mediciones son estimadas gráficamente sobre los difractogramas obtenidos de las muestras naturales de rutina. Un análisis más

detallado para estas rocas puede obtenerse realizando un concentrado de arcillas a partir de un volumen mayor de roca.

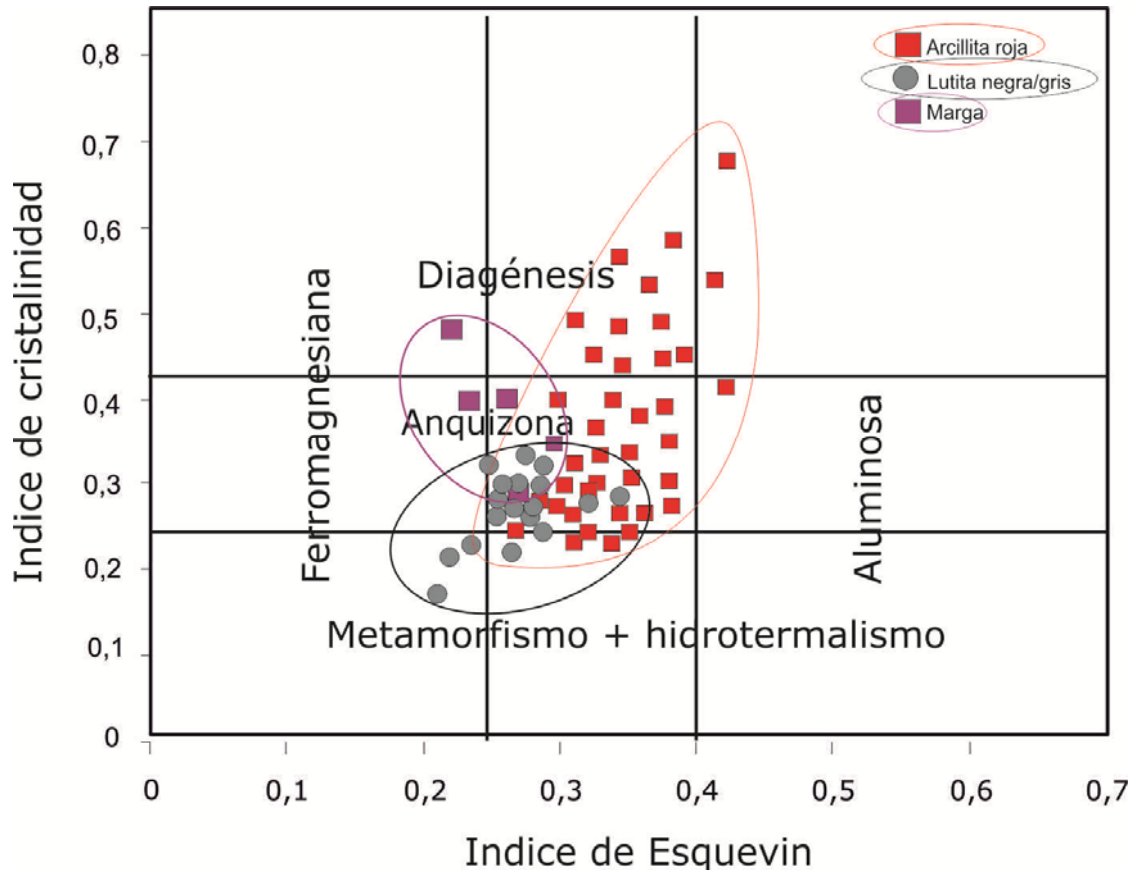


Figura IV.6.1: Índice de cristalinidad de la Illita (IC) versus el Índice de Esquevin (IE) (Esquevin, 1969; Modificado de Gómez Peral, 2008).

El gráfico ilustra que los valores de IC e IE varían de acuerdo a cada litología estudiada. En el caso de las arcillitas rojas los valores de IC son muy variados, pudiéndose distinguir dos grupos de muestras con valores más bajos (es decir de muy alta cristalinidad) que varían entre los 0,23 y 0,40 y otras con valores de cristalinidad mayor a 0,45 y con algunos muy altos de hasta 0,60 y 0,68. Por otro lado los valores de IE varían entre los 0,23 y 0,31.

De la comparación entre los dos parámetros o índices se deduce que una parte importante de las illitas de las arcillitas rojas se ubican en el campo anquizona, mientras que el otro grupo (con valores mayores de IC) se ubican en el campo de la diagénesis (Figura IV.4.1).

Distinta es la situación para las lutitas negras/grises las cuales tiene valores de IC que varían entre los 0,2 y 0,32, es decir contienen illitas de muy alta cristalinidad, mientras que los valores del índice IE son similares a las muestras mencionadas anteriormente y en este caso varían entre los 0,21 y

0,34. De la correlación entre ambos parámetros se desprende que todas las illitas presentes en las lutitas negras se ubican únicamente en la zona del anquimetamorfismo y del inicio del campo metamórfico propiamente dicho.

De lo expuesto anteriormente es importante señalar que las lutitas negras/grises tienen una población relativamente uniforme, distinto es lo que sucede con las arcilitas rojas que señalan una distribución más dispersa, lo cual permite sugerir que las illitas que componen a la lutitas negras/grises tendrían un único origen mientras que las illitas presentes en las arcilitas rojas podrían tener al menos dos orígenes diferentes. En el caso de las illitas con alto índice de cristalinidad IC 0,2 se sugiere que las mismas tendrían un origen detrítico, y estas están presentes a lo largo de toda la sucesión, mientras que las illitas con baja cristalinidad ($IC > 0,4$) son típicamente asociadas a un origen diagenético (por la transformación de esmectita e IS durante el enterramiento) y se destaca que las mismas están presentes en las arcilitas rojas y asimismo en las margas (Figura IV.6.1).

IV.6.2 Índice de cristalinidad de la Clorita (001)

Con el fin de obtener datos adicionales que reflejen el grado de temperatura al que las rocas de este estudio han sido expuestas durante la diagénesis y teniendo en cuenta los potenciales orígenes de estas arcillas, y que se cuenta con una abundante cantidad de minerales de clorita en casi todas las muestras analizadas, se procedió a medir los anchos del pico de 7 \AA (002), para utilizarlo como un indicador de la cristalinidad de la clorita y así poderlos comparar con los valores de IC (Suchy, 2007).

En la Figura IV.6.2 se muestran las relaciones entre el índice de cristalinidad de la clorita comparando los anchos de los picos 001 y 002 de la ChC (clorita). Por lo general, el aumento de la altura del pico de 7 \AA de la clorita y la disminución de su anchura, está en relación directa con el aumento de temperatura y por lo tanto del grado de calentamiento durante el soterramiento (Suchy, 2007).

El grafico muestra tres zonas que ordenadas de mayor a menos temperatura son: “E” correspondiente a la epizona (metamorfismo sensu estricto), “A” la anquizona y por último la zona “D” que corresponde al campo de la diagénesis.

Las lutitas negras/grises muestran picos de la clorita que se ubican mayormente en el campo del metamorfismo y en menor medida en el campo del anquimetamorfismo. En el caso de las arcilitas rojas su distribución es más variable entre los campos A y E (y una muestra que se ubica en la zona D).

Como se expuso para la relación anterior (IC Vs IE) se sugiere que la distribución más uniforme y acotada para el caso de las arcillas de las lutitas negras señala un carácter mayormente detrítico, en

comparación con las arcillas de las arcillitas rojas que presentan una distribución más dispersa, que permite sugerir que en la misma existen argilominerales de origen tanto detrítico como autigénico.

Cuando se volcaron los datos de las margas en el gráfico, todos los valores se ubicaron en la zona E, pero debido a la alta proporción de carbonato y la baja de argilominerales no se tomarán en cuenta para hacer interpretaciones.

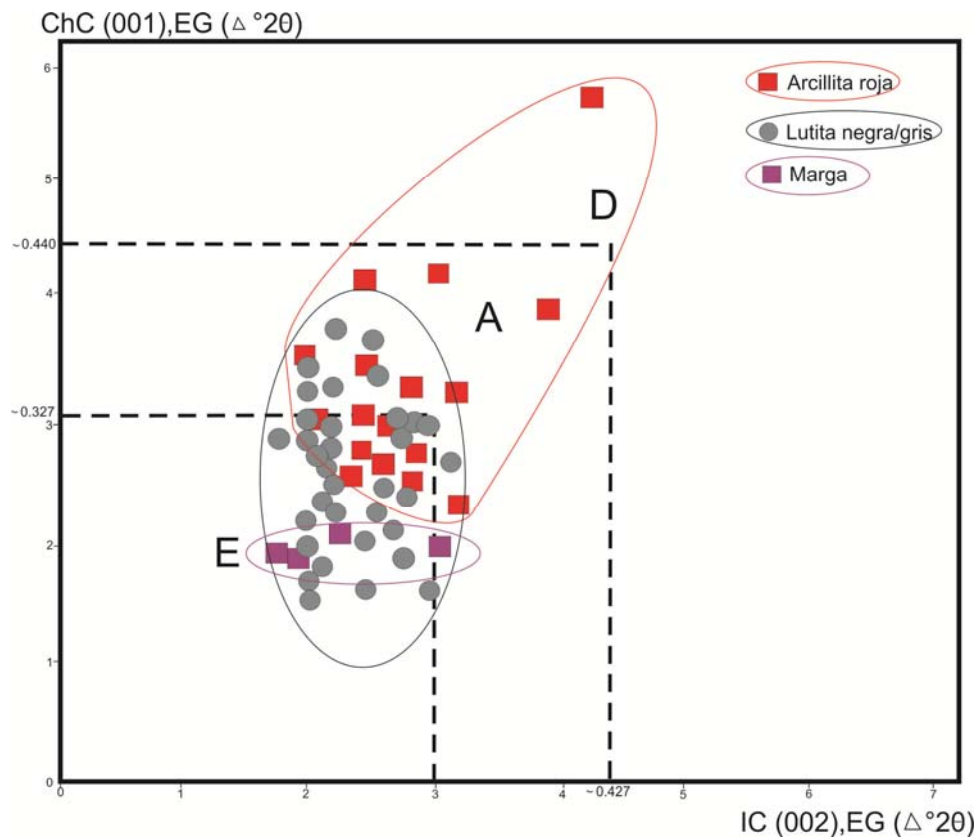


Figura IV.6.2: Índice de cristalinidad de la Clorita (ChC) versus el Índice de cristalinidad de la Illita (IC).

El Campo E corresponde la Epizona (metamorfismo), A: Anquizona y D: a la zona de diagénesis.

Modificado de Suchy *et al.*, 2007.

IV.7. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

La microscopia electrónica de barrido es una técnica de análisis superficial, que permite observar muestras de tamaño desde milímetros hasta del orden del nanómetro; su gran profundidad de campo le da una apariencia tridimensional a las imágenes permitiendo observaciones más específicas.

Se realizaron análisis sobre 5 muestras con microscopia electrónica y microanálisis con sonda de fluorescencia de rayos X correspondiente a diferentes perfiles; 4 se llevaron a cabo en el perfil TA 22 para los metros 42, 78, 116 y 170, abarcando los tres tipos litológicos más relevantes arcilitas rojas (42 m), lutitas negras/grises (78,116 m) y margas. Por último se analizó una muestra de lutitas negras/grises en el metro 70 para el perfil TSE 34.

Perfil TA 22

Los análisis con microscopia electrónica del perfil Ta 22 metro 42 (facies PArm) permitieron registrar la presencia de minerales de arcillas con bordes irregulares, algunos de las cuales presentan desarrollo de cristales que superan los 10 μm con una composición (Si-Al-K), lo que permite identificarlos como láminas de **illitas detríticas** (Figura IV.8.1). Por otra parte, y a medida que profundizamos en la columna del perfil TA 22 (Figura III.7) se han identificado agregados de cristales subhedrales de alrededor de 10 a 15 μm con hábito laminar y bordes irregulares los cuales por su composición (rica en hierro y con alto magnesio) constituyen laminas de clorita rica en hierro (identificada asimismo por DRX) (Figura IV.8.2). Por último, se han reconocido cristales de calcita con buen desarrollo cristalino, llegando al centímetro, como relleno de venas y en la cual el espectro de EDAX muestra una composición rica en Ca (Figura IV.8.4).

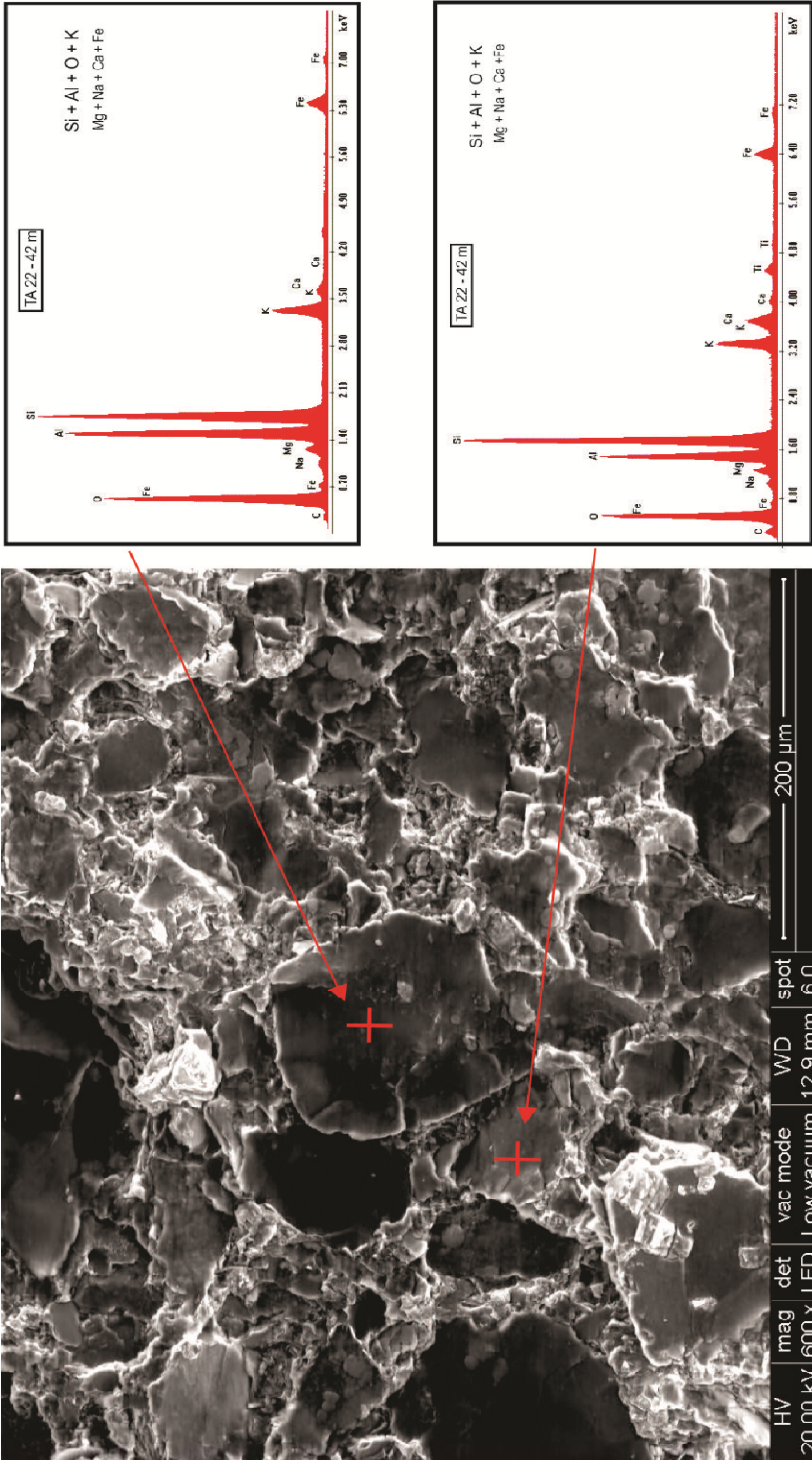


Figura IV.8.1: Microfotografía tomada con MEB (LIMF UNLP) de los argilominerales para el metro 42 del perfil TA 22 con punto EDAX. Por la morfología y composición química se interpreta que el mineral de arcilla es illita. .

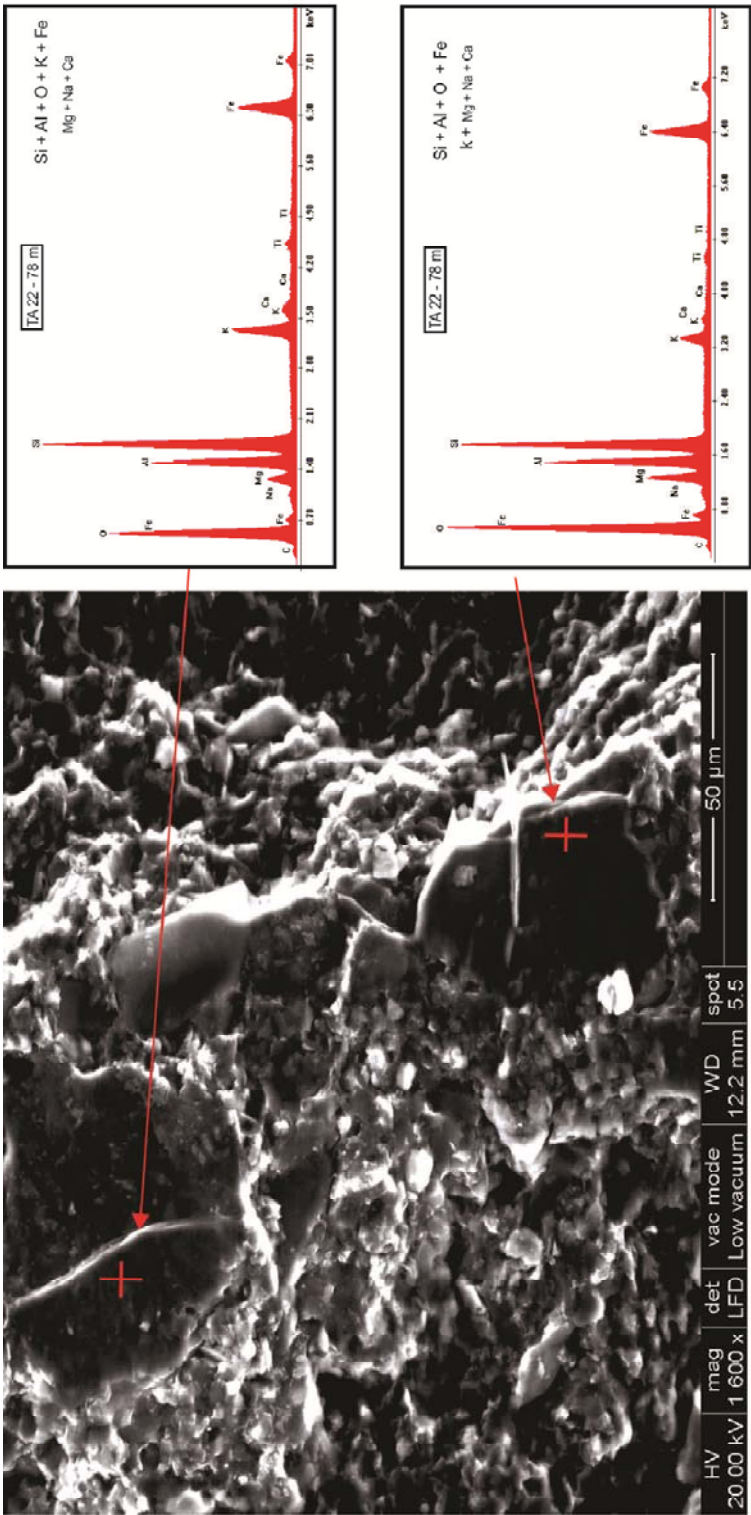


Figura IV.8.2: Microfotografía tomada con MEB (LIMF UNLP) de los argilominerales para el metro 72 del perfil TA 22 con puntos EDAX. Por la morfología y composición química se interpreta que el mineral de arcilla es clorita.

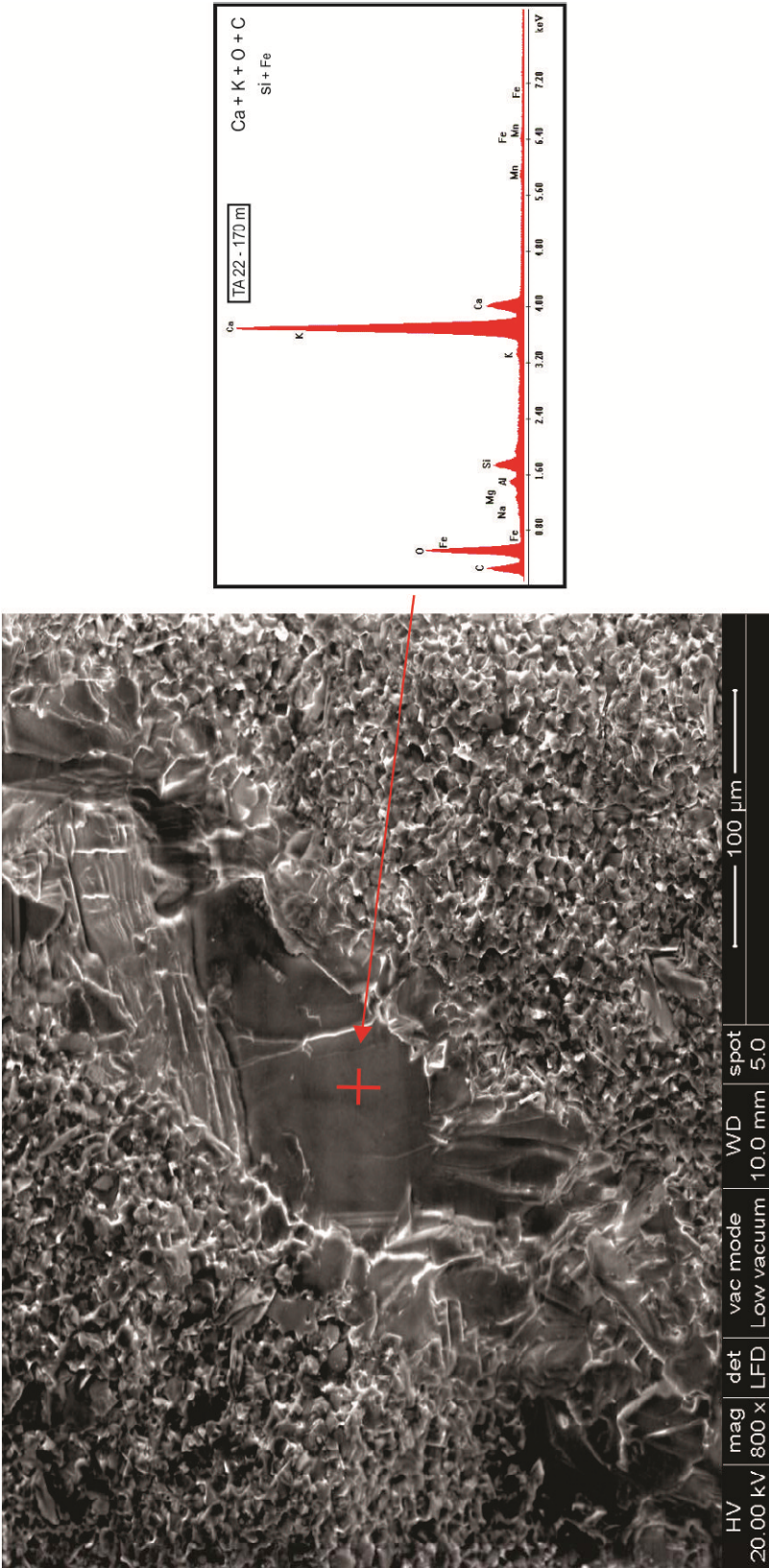


Figura IV.8.4: Microfotografía tomada con MEB (LIMF UNLP) de cristales de calcita para el metro 170 del perfil TA 22 con punto EDAX correspondiente a calcita.

Perfil TSE 34

Se analizó por MEB y EDAX una muestra del perfil TSE 34 correspondientes a la facies de arcilita roja obtenida del yacimiento La Cabañita, en el metro 70 (Figura IV.5.1). Se registraron cristales subhedrales a euhedrales de illita, de bordes cristalinos bien definidos y de tamaño alrededor de 5 μm las cuales son características típicas de las formas autigénicas de las arcillas en general. El espectro de EDAX muestra la composición en elementos, cabe destacar que si bien presenta K (potasio) este elemento muestra un pico mucho más bajo que el de las illitas detríticas vistas anteriormente, de algunos componentes también hallados en la interpretación por difracción de RX (Figura IV.8.5).

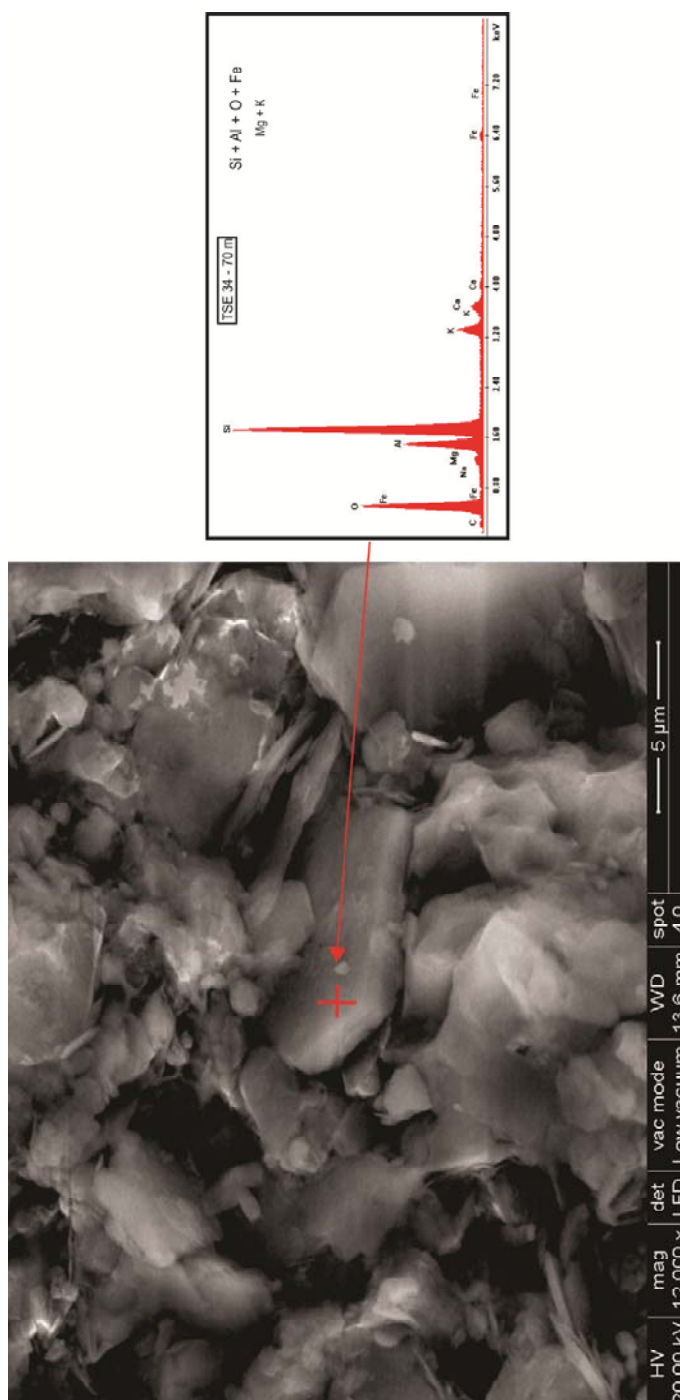


Figura IV.8.5: Microfotografía tomada con MEB (LIMF UNLP) para el metro 70 del perfil TSE 34 con punto EDAX Por la morfología y composición química se interpreta que el mineral de arcilla es illita.

IV.8 Origen de las arcillas estudiadas en este trabajo

El origen de los argilominerales constituye uno de los puntos importantes de conocer ya que del mismo dependerán muchas de las interpretaciones que se puedan hacer, como ser: la composición litológica de la o las zonas de aporte, las condiciones de meteorización del área fuente y las condiciones diagenéticas a las cuales pudieron haber sido sometidas.

Las arcillas pueden tener un origen detrítico o haberse formado *in situ* por meteorización, neoformación (autigénesis) o transformación mineralógica durante la diagénesis.

Las arcillas detríticas son aquellas que se han formado durante un ciclo sedimentario previo y son suficientemente estables para permanecer inertes en el medio actual. Su estabilidad se debe a la baja velocidad de reacción o a que están en equilibrio químico con el medio en el que se encuentran (Chamley, 1989). De esta manera, las arcillas detríticas brindan información importante acerca del área fuente.

Las arcillas autigénicas o neoformadas, se originan a partir de la precipitación de una solución o por transformación de material pre existente (Wilson y Pittman, 1977). A partir de una solución puede precipitar arcilla o fomentar el crecimiento (por nucleación) de arcillas cuyas propiedades físicas y químicas reflejarán el ambiente en el que se formaron (Chamley, 1989).

Wilson y Pittman (1977), han descripto distintos criterios para reconocer la presencia de argilominerales autigénicos como ser: bordes de granos definidos, ausencia de deformación, reemplazos pseudomórficos, ausencia de impurezas, zonación de color concéntrica, entre otras características.

Con lo expuesto anteriormente, se puede deducir que el origen de los altos contenidos de Illita puede considerarse principalmente de carácter detrítico, no solo por su abundancia, sino que también, como se observa en las microfotografías, por sus bordes irregulares e impurezas en su composición. La illita de carácter detrítico, puede formarse a partir de la meteorización de rocas graníticas, ricas en muscovita (Nesbit e Young 1989). Lo mismo para la clorita, producto heredado de la alteración de biotita o de minerales máficos como los anfíboles y piroxenos.

Por otra parte, se han reconocido, aunque con menor frecuencia arcillas con características típicas de un origen autigénico (tanto illita como clorita, Fig. VI.8.5), las cuales, podrían haberse formado por la transformación durante la diagénesis a partir de esmectitas y/o interestratificados.

En el capítulo subsiguiente, correspondiente a la petrografía (Capítulo V), se dan a conocer más evidencias de la presencia de origen detrítico ya que tanto la illita como la clorita se encuentran acompañadas de minerales micáceos como sericita (muscovita) y biotita.

Asimismo, como se mencionara se reconocen arcillas provenientes de la transformación de IS a I durante la diagénesis, como así también se observa un incremento importante de la clorita en detrimento de la illita en la mayoría de las secciones analizadas.

IV.9.Consideraciones preliminares

- I. Los análisis de difracción de rayos X acompañados por microscopia electrónica de barrido, permiten indicar que todas las secciones estudiadas se caracterizan por presentar elevadas proporciones de cuarzo, escasos feldespatos, variable cantidad de calcita, y dominio de los argilominerales de illita y clorita.
- II. Si se realiza un perfil “tipo” mediante un promedio de todas las secciones estudiadas que involucre a las margas de la base, las lutitas negras/grises del sector medio y las arcilitas rojas y heterolíticas del techo se puede observar una distribución característica para cada tramo de los minerales presentes (Figura IV.10).
 - a. En la base de los perfiles, integrada por la asociación de facies I, se observa que en la facies de margas (Mm - MI) presenta cuarzo y calcita como los minerales más abundantes en la fracción de roca total, los cuales se encuentran en proporciones similares. Las arcillas son en general escasas ya que no superan el 15%, y dentro de los argilominerales más comunes se reconoce a la illita, y en menores proporciones (que no superan el 10%) interestratificados de IS. (Figura IV.5.1 y Tabla 5.1), no se identifica clorita. A medida que se avanza en el perfil y entra a participar la facies de arcilitas rojas masivas (PArm) se identifica la presencia de clorita en porcentajes que llegan al 40%.
 - b. En la parte media de los perfiles, donde predominan las facies de lutitas negras (Lng), el cuarzo es el mineral más abundante en roca total acompañado por plagioclasas (5 – 15%) y en algunos casos por feldespato K muy subordinado (menor al 5%). Dentro de la fracción fina los dos argilominerales presentes son la Illita y la clorita en una proporción de 80:20, aunque puede variar hasta 60:40 en niveles intermedios (Figura IV 4.1 y Tabla 4.A).
 - c. Finalmente para la parte superior del perfil promedio donde predominan las facies heterolíticas (Ht) y las facies de arcilitas rojas (Ar), se aprecia un predominio del cuarzo (85%) con una disminución en los porcentajes de plagioclasas y de material arcilloso. Para las arcillas sigue predominando la illita con porcentajes de hasta 95%, disminuyendo el de clorita. Eventualmente en los niveles superiores de los perfiles

que comienzan con las arcillitas rojas, se hacen presentes los interestratificados de IS evidenciando una leve meteorización de dichos niveles (Figura IV.3.1 y Tabla 3.A).

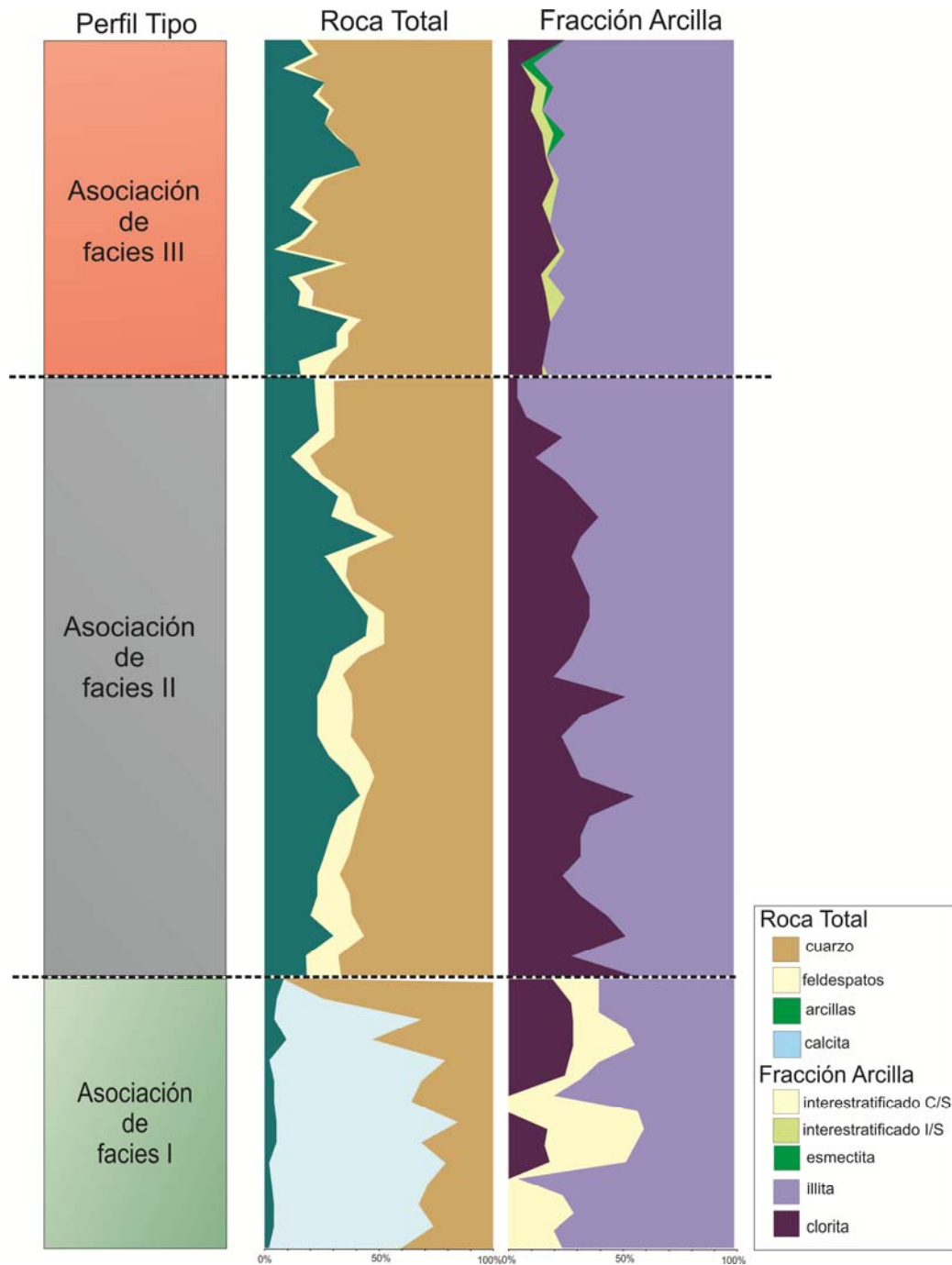


Figura IV.10: Perfil "tipo" que comprende de base a techo: Margas, Lutitas negras/grises y arcillitas rojas y sus respectivas distribuciones promedios de los diferentes minerales presentes.

- III. Los interestratificados de CS se hacen presentes en forma discontinua y en proporciones que no llegan a superar el 10 %, se los puede vincular al techo de las facies margosas (Mm – MI), lo cual es de esperar, ya que el techo de las margas en sus primeros metros evidencia una fuerte meteorización superficial.
- IV. De los índices de cristalinidad de illita (IC) e índice de Esquevin (IE) se obtuvo que, para las arcilitas rojas hay dos grupos bien diferenciados de muestras en las que los valores caen por un lado en el campo de la diagénesis y otro en el de la anquizona. Es por esto, que se sugiere que las mismas tendrían *illitas de diferente origen, tanto detrítico como autigénico*. En el caso de las lutitas negras/grises la situación es diferente ya que las mismas muestran, una distribución más uniforme, en donde el 100% de las muestras se encuentra en el campo de la anquizona – metamorfismo (Figura IV.4.1); sugiriendo que las lutitas negras/grises contienen *argilominerales asociados con un origen detrítico*.
- V. Del análisis del índice de cristalinidad de la clorita se desprende que las lutitas negras/grises muestran picos de la clorita que se ubican mayormente en el campo del metamorfismo y en menor medida en el campo del anquimetamorfismo.
- En el caso de las arcilitas rojas la distribución de las cristalinidades de la clorita es más variable abarcando los campos del metamorfismo, el anquimetamorfismo y la diagénesis (Figura IV.6.2). Al igual que lo observado en el análisis de las cristalinidades de las illitas se puede sugerir que las lutitas negras/grises poseen un carácter mayormente detrítico, mientras que las cloritas de las arcilitas rojas serían tanto detríticas como autigénicas debido a la presencia de picos claramente más anchos.

CAPÍTULO V

V. Petrografía

V.1 Generalidades

V.2 Petrografía Margas

V.3 Petrografía de Arcilitas – Lutitas – Limolitas

V.4 Petrografía de Areniscas finas a medianas

V.5 Clasificación de Areniscas

V.6 Conclusiones preliminares

V (Análisis petrográfico)

V.1 Generalidades

El análisis petrográfico con microscopio de polarización es una herramienta indispensable para caracterizar a cualquier tipo de roca. En el caso de las rocas sedimentarias su estudio petrográfico es la base para determinar su composición, clasificarlas y para analizar su procedencia. Para este trabajo de tesis, en los sedimentos de granulometrías intermedias, como ser areniscas y limolitas, el estudio petrográfico resultó de gran utilidad. En granulometrías menores como las pelíticas las técnicas de identificación de componentes más efectivas son otras, como la difracción de Rayos X, fluorescencia de Rayos X y espectrometría de masas (ALS - AMS) descriptos en los capítulos IV y VI.

Sobre las muestras de las unidades comprendidas en este estudio, se realizó el análisis petrográfico de 51 cortes delgados, de los cuales 10 corresponden a las facies de margas, 2 a la facies de brechas calcáreas, 15 a las facies arenosas finas a medianas, 14 a las facies limosas y por último se realizaron 10 cortes petrográficos para la facies de lutitas negras y arcilitas rojas.

V.2 Petrografía Margas

Marga es un término empleado para designar aquellas rocas que están compuestas por un rango de material carbonático fino (micrítico) que varía entre 30% y 60 % (Tucker, 1982) y el porcentaje restante por minerales arcillosos, cuarzo y otros componentes silicoclásticos por lo que suele considerarse como de un origen mixto desde el punto de vista composicional. Las margas muestran una reacción al HCl moderada a baja y en el análisis mineralógico por DRX puede determinarse la presencia de porcentajes de calcita variables entre 45 y 60 % (ver Capítulo IV).

Se analizaron 10 cortes delgados de margas, 3 provenientes de la perforación con testigo TA 23 (yacimiento Alicia), 3 obtenidos en el frente de la cantera El Polvorín y 4 del testigo TSE 34 (Yacimiento La Cabañita) (perfiles Capítulo 3). En los mismos se pudo reconocer abundante material micrítico acompañado de material arcilloso, eventualmente limoso. Se observan venillas de calcita subesparítica (cristales $> 5 \mu\text{m}$ y $< 30 \mu\text{m}$), mostrando en algunos casos clivaje en tres direcciones característico de la calcita. Algunos ejemplos se muestran en la Figuras V.1 Y V.2.



Figura V.1: Microfotografías de margas. A) Sin nicoles y B) Con nicoles cruzados pertenecientes al Testigo TA 23: Se observa una mezcla de material micrítico y en menor proporción de material arcilloso que es atravesado por una vetilla de calcita recristalizada de ancho $>$ a los $5\ \mu\text{m}$, y que pueden llegar a los $200\ \mu\text{m}$. C) Sin nicoles y D) con nicoles; se distingue una mezcla de material pelítico y micrítico, atravesado por vetillas de calcita esparítica.

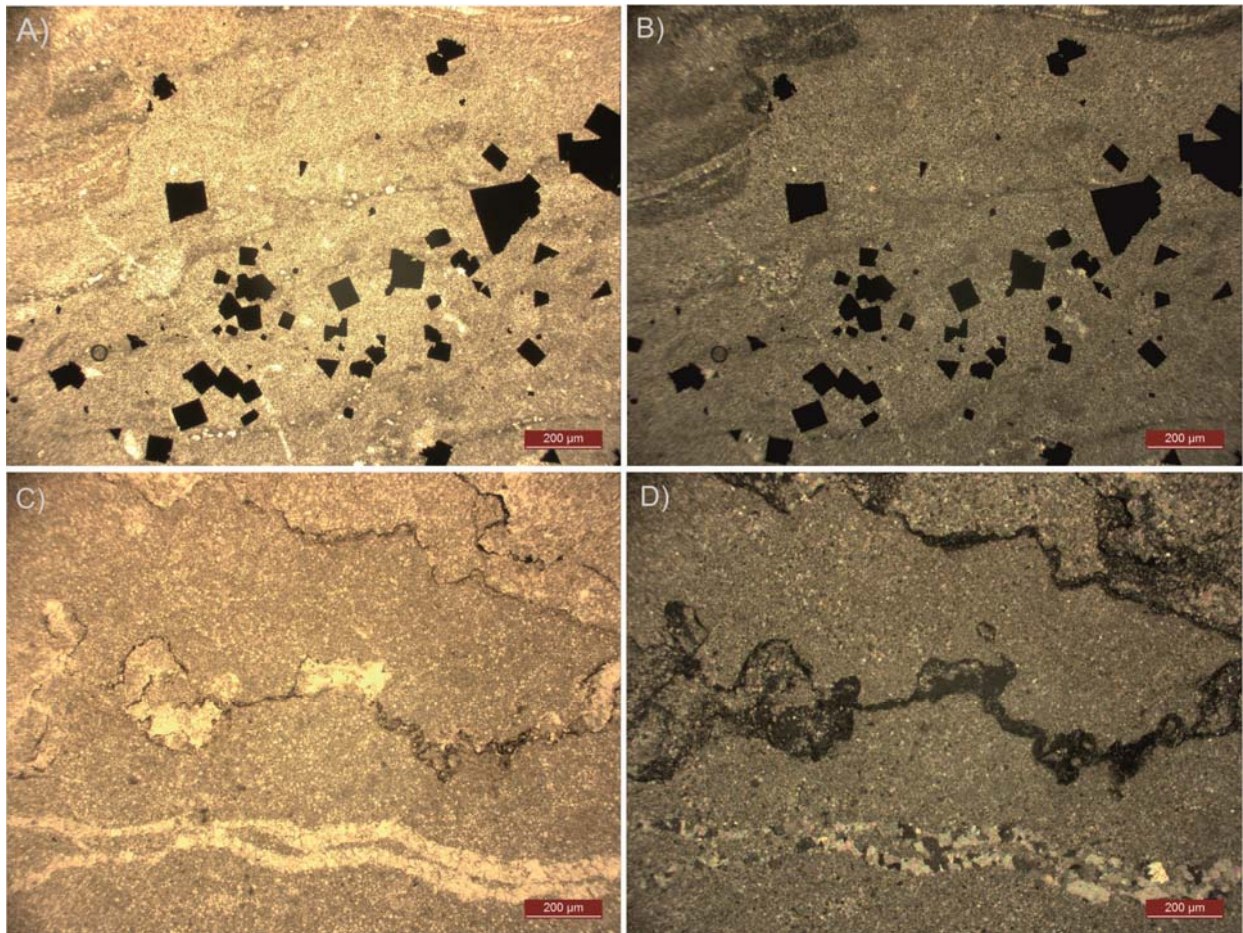


Figura V.2: Microfotografía de Margas. A) Sin nicoles y B) Con nicoles cruzados; pertenecientes al Testigo TA 30, 146 mbbp: Se observa una mezcla de material micrítico y en menor proporción de material arcilloso; los cristales de pirita varían entre los 5 μm a los 200 μm . C) Sin nicoles y D) con nicoles cruzados; muestras del testigo TCA 2, metro 96 bbp con vetillas de calcita y estilolitas anastomosadas.

V.3 Petrografía de Arcilitas – Lutitas – Limolitas

Como es sabido, las arcilitas y las lutitas tienen granulometrías demasiado finas para estudiarse con el microscopio petrográfico y deben ser analizadas con otras herramientas como son microscopio electrónico - SEM- y difracción de rayos X (Capítulo IV). A sabiendas de esta dificultad, igualmente se realizaron 10 cortes delgados, 8 en lutitas negras y 2 en arcillitas rojas, obtenidas de testigos de perforación de los yacimientos Alicia (TA 23 y TCA 4) y La Cabañita (TSE 34).

Entre los componentes principales del material pelítico observados al microscopio petrográfico, se destacan cristaloclastos de cuarzo límpido y con extinción óptica ligeramente ondulosa, de un tamaño que no supera los 45 micrones (0.045 mm), muscovita y biotita mayormente

deformadas, clorita en láminas delgadas y en algunos casos flexuradas y escasas plagioclasas con las típicas maclas polisintéticas, todas de tamaños menores a los 45 micrones.

La matriz es arcillosa, aunque de difícil diferenciación, dado el tinte oscuro que le otorga un cemento generalmente de óxidos de hierro y que también presenta cemento carbonático (cuando es posible su observación), (Figura V.3).

Cuomo *et al.*(1983), hacen referencia, a la presencia de niveles tobáceos intercalados en estas limolitas, en los que describen texturas clásticas angulosas con formas características de trizas volcánicas, litoclastos de microclino y trizas de vidrio sustituidas por cuarzo, evidencias que para el autor revelan un origen volcánico. Sin embargo, estos niveles no fueron reconocidos en este estudio.

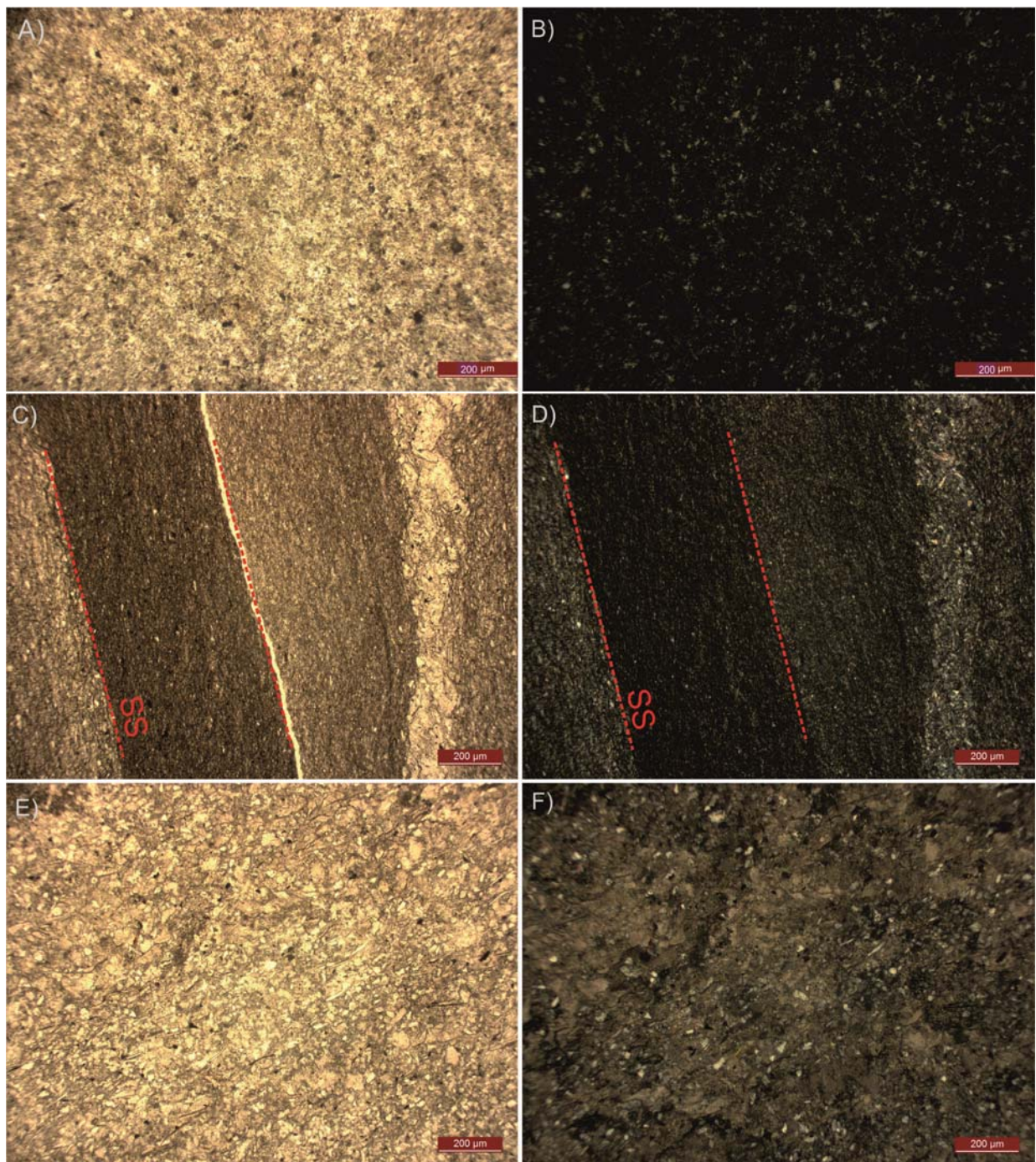


Figura V.3: Microfotografía de limolitas, A) Sin nicoles y B) Con nicoles cruzados; pertenecientes al Testigo TA 23; metro 43 bbp, se observa la microtextura de las limolitas. C) Sin nicoles y D) con nicoles cruzados; muestras del testigo TCA 4; metro 131 bbp.; se puede observar la micro estructura laminada de las limolitas (banda clara) junto con las fangolitas (capa oscura), SS: Plano de sedimentacion. Foto E) sin nicoles y F) con nicoles pertenecientes al TCA 103, muestra los minerales de cuarzo monocrystalino que se pueden identificar en los limos y al cemento carbonático.

V.4 Petrografía de Areniscas finas a medianas.

Tanto las limolitas como las areniscas finas a medianas, no son las litologías predominantes en la zona de estudio, esto queda evidenciado en los perfiles sedimentológicos descriptos en el capítulo III y en el análisis mineralógico por difracción de rayos X que se hace en el capítulo IV. Este conjunto de rocas se da en un 15% de representatividad en relación a las arcilitas y lutitas que son el tipo litológico que predomina.

Los cortes que se analizaron se han llevado a cabo en muestras tomadas en los niveles más gruesos que corresponden a las facies *Am* y *Aex*. Se analizaron los componentes detríticos de cada muestra, además de identificar matriz y cemento. Es importante remarcar que la granulometría fina a mediana (62 a 500 micrones) si bien permite una mejor observación de los componentes en relación a la facies pelíticas, se dificulta el conteo de los clastos siguiendo la metodología de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984). Igualmente cabe destacar que se realizó un conteo de unos 200 puntos en las areniscas más gruesas, se calcularon modas detríticas que fueron representadas en los triángulos de Folk et al (1970) y Dott (1964), permitiendo clasificar a dichas areniscas (Apartado V.4.5).

Los cortes petrográficos analizados pertenecen a los perfiles Cantera Cerro Negro, TCA 4 y TA 23 (Figura V.4).

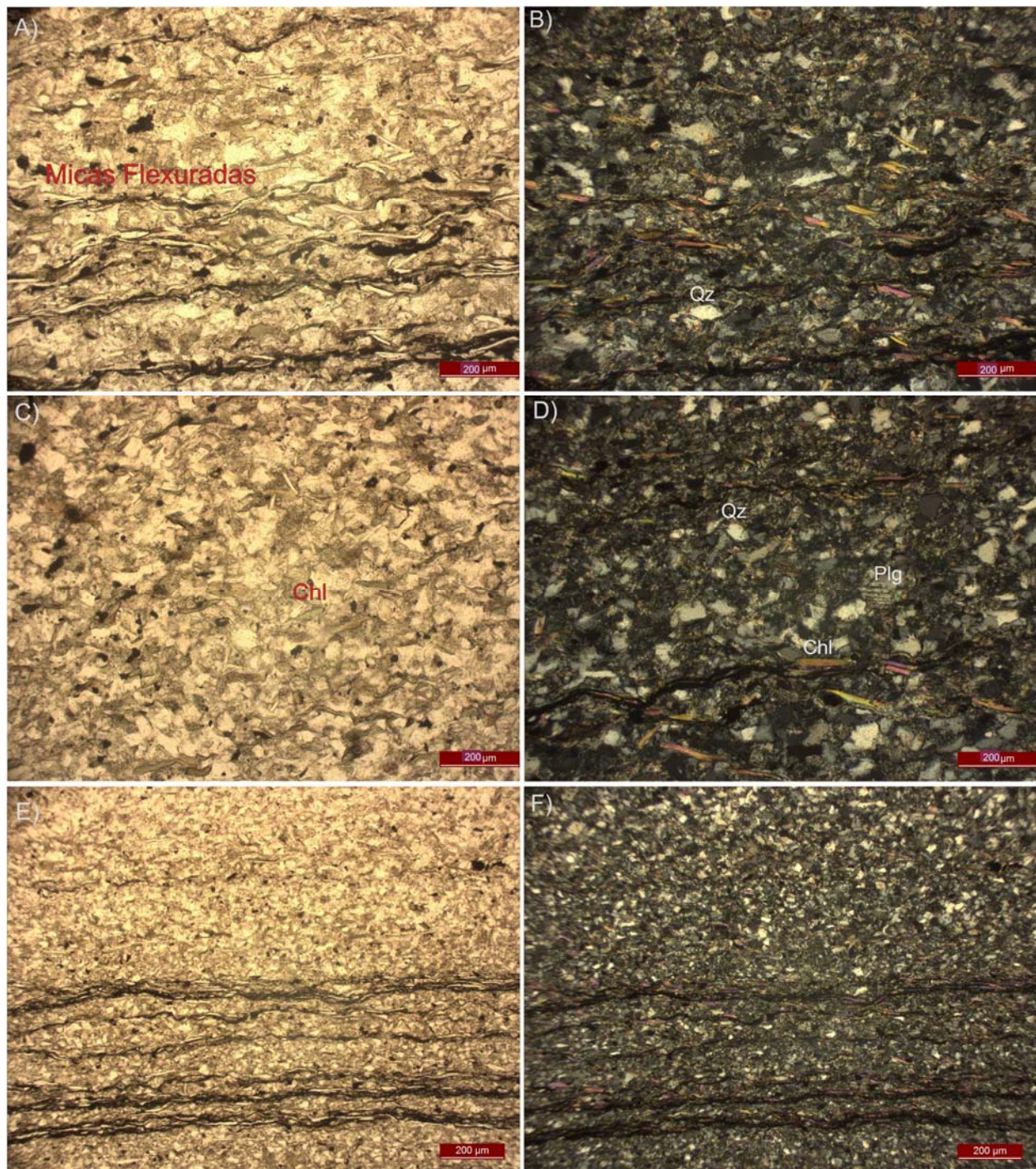


Figura V.4: Microfotografía A) Sin nicoles y B) Con nicoles cruzados; 200 µm, pertenecientes al Testigo TCA 10; metro104 bbp, se observa minerales micáceos flexurados. C) Sin nicoles y D) con nicoles cruzados; 200 µm, muestras del testigo TCA 4; metro 52 bbp. Muestra minerales de clorita, cuarzo y plagioclasa con maclas polisintéticas. E) Sin nicoles Y F) con nicoles cruzados, pertenecen al Testigo TCA 4; metro 102 bbp. Se observa el ordenamiento paralelo de los granos de biotita en los planos de laminación de las areniscas. Se observa en E y F una microestructura gradada.

V.4.1 Componentes detríticos

Los componentes detríticos son todos aquellos fragmentos que han sido transportados y son la resultante de la desintegración de rocas preexistentes que pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas (Scasso y Limarino, 1998). Los principales componentes identificados en las areniscas son cuarzo monocristalino, biotita, clorita, escasas plagioclasas y en menor medida lítoclastos. A continuación se describen, las principales características observadas para cada componente. Se observa una microfabrica apretada y compacta evidenciada por la coincidencia que se da en los bordes cóncavos-convexos (Figura V.5).

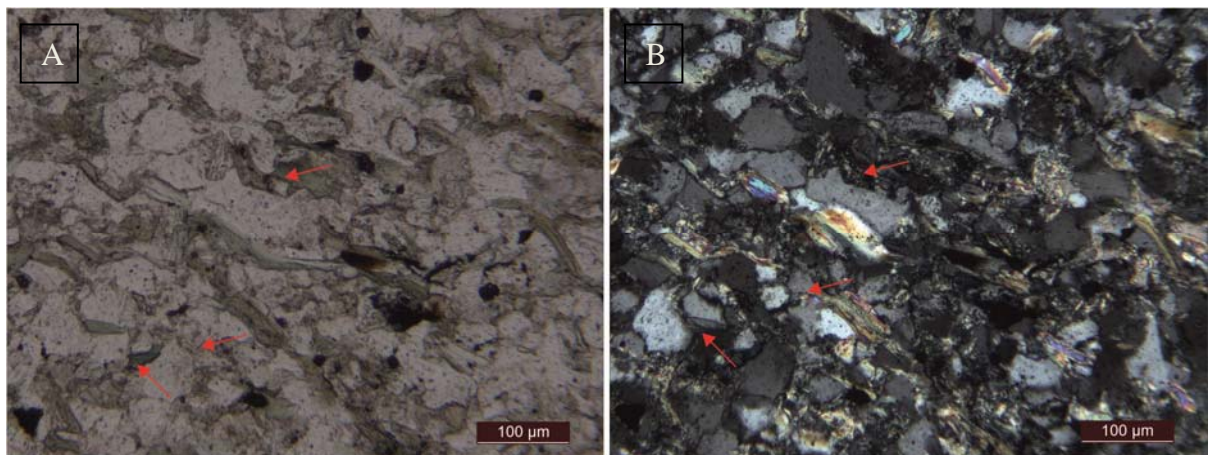


Figura V.5: Microfotografía A) Sin nicoles y B) Con nicoles cruzados, pertenecientes al Testigo TCA 10; metro101 bbp, se observa la microfabrica compacta y apretada, indicada por las flechas rojas.

V.4.1.1 Cuarzo monocristalino.

El cuarzo monocristalino es el mineral más abundante en las areniscas, la forma de los granos varía de subangulosa a subredondeada, la extinción es uniforme extinguiéndose completamente en una posición concreta al girar la platina; es común encontrar que algunos cristales tienen extinciones parciales al girar la platina, este fenómeno se denomina *extinción ondulosa* y es la respuesta a esfuerzos aplicados a la roca y se atribuye a granos de cuarzo de origen ígneo-metamórfico (Figura V.6). En ocasiones presentan engolfamientos en sus bordes, rasgo que hace suponer un origen volcánico, aunque no se descarta que la disolución los bordes pueda también provocar formas engolfadas (Figura V.7).

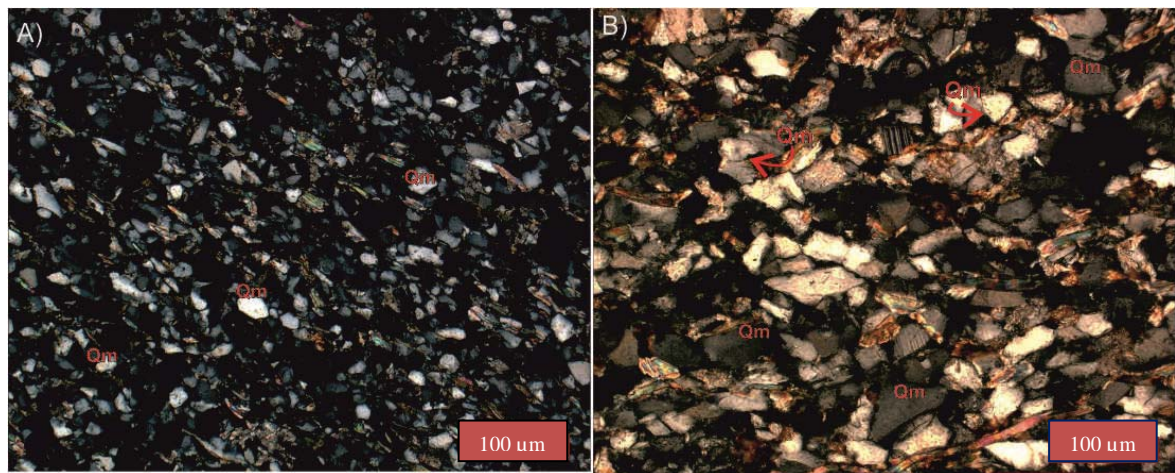


Figura V.6: Microfotografía del cuarzo monocristalino A) Con nicols cruzados, muestra TCA 10 metro 102B) Con nicols cruzados, muestra TA 22 metro 128. Con extinción ondulosa.

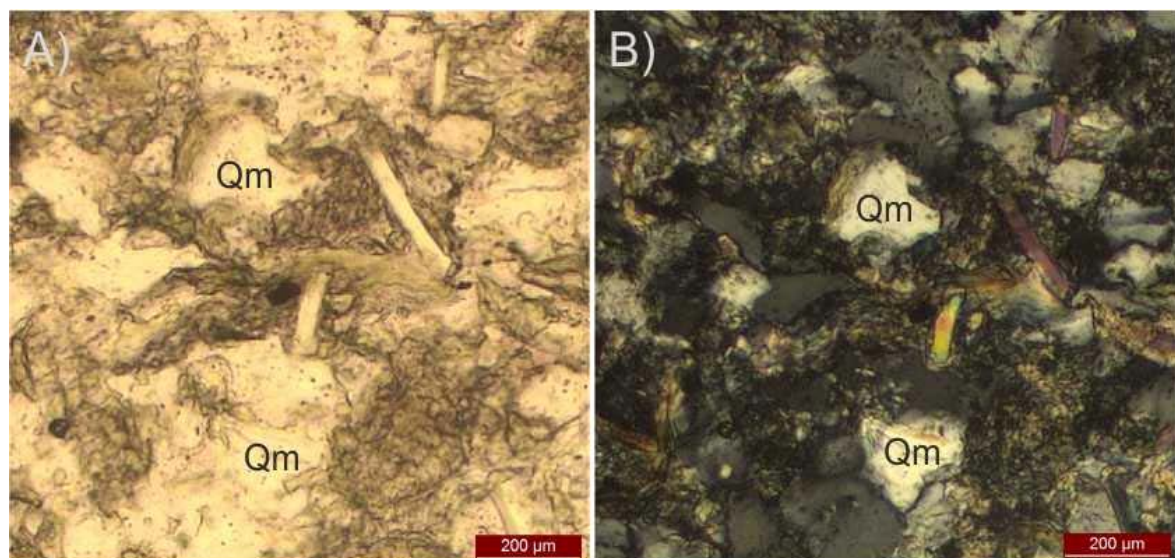


Figura V.7: Microfotografía del cuarzo monocristalino, TCA 10 metro 131.

A) Sin nicols, B) con nicols cruzados. En algunos casos el cuarzo muestra engolfamientos, (cuarzo superior).

V.4.1.2. Feldespatos

Los feldespatos son componentes importantes en muchas de las areniscas, en este caso la plagioclasa es el feldespato más frecuente. Se encuentra en un porcentaje no mayor al 0.5 % total de la roca; de formas angulosas, subangulosas a subredondeadas. Son de fácil identificación ya que presentan las típicas maclas polisintéticas de albita y en menor medida de Carlsbad y los colores de interferencia son de primer orden. De formas anhedrales a subhedrales, eventualmente presentan un aspecto turbio que se debe a la alteración dispuesta en parches irregulares alterados a sericita, mica de grano muy fino y de birrefringencia alta.

Se determinaron en 9 cristales, utilizando el método de Michel – Lévy, composiciones que varían entre oligoclasa y andesina (es decir de naturaleza ácidas a intermedia). Las muestras pertenecen a los perfiles TA 22 y TCA 4 (Figura V.8).

Es importante mencionar que en el grupo Sierras Bayas, tanto en la zona media como superior, hay ausencia total de plagioclasas (Gómez Peral, 2008), lo cual nos estaría sugiriendo un cambio en la procedencia de los materiales. Dato que será tenido en cuenta para los estudios de esta índole.

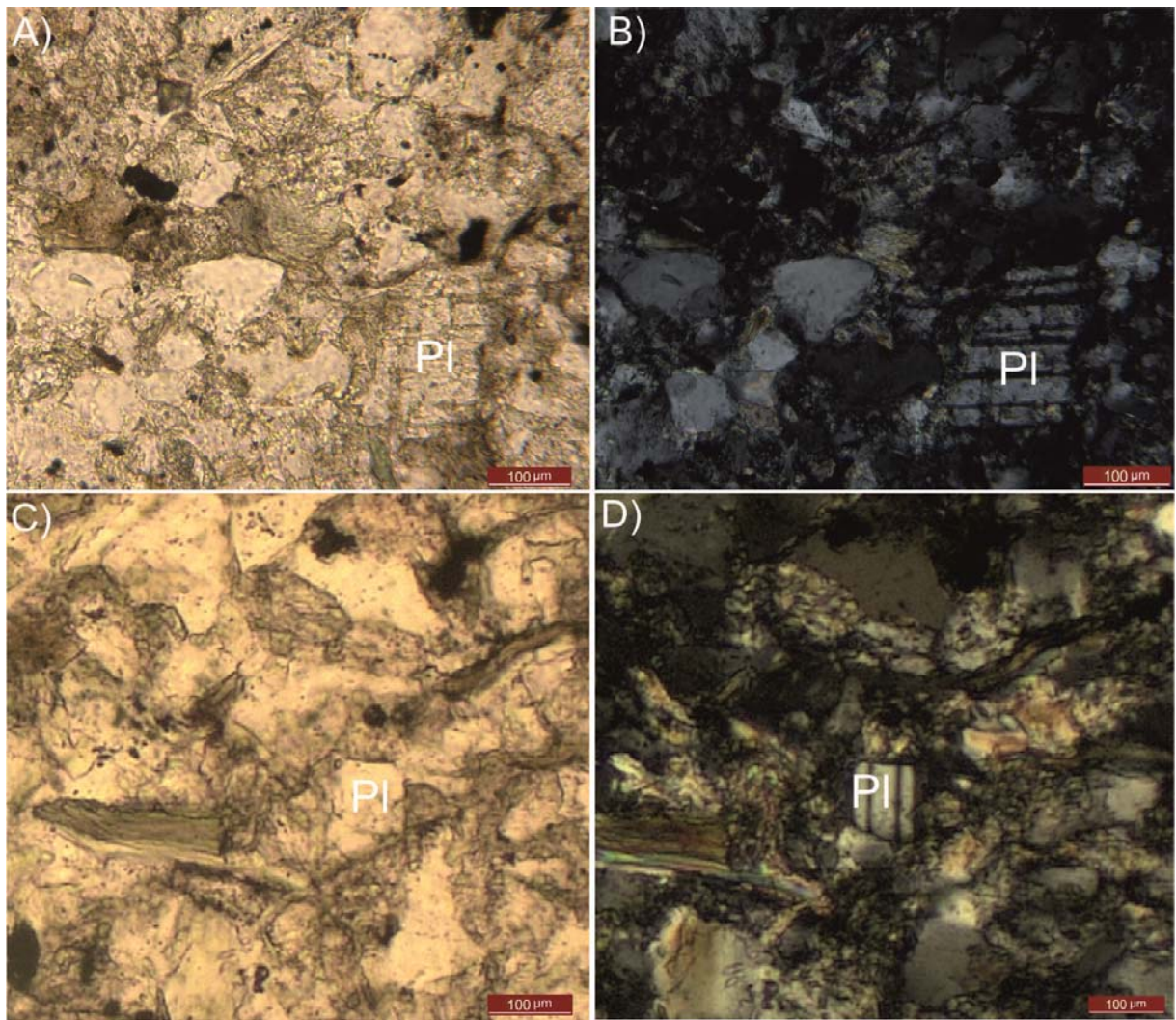


Figura V.8: Microfotografías de granos de plagioclasas con maclas polisintéticas.

A) Sin nicoles, B) con nicoles cruzados: muestra TA 22; metro 165 bbp. C) Sin nicoles, D) Con nicoles cruzados: muestra TCA 10; metro 131 bbp.

V.4.1.3. Argilominerales

En este apartado se engloban distintos argilominerales como la illita, clorita y micas del tipo muscovita y biotita. Predominan las formas alargadas y aguzadas, son granos de color castaño o pardo claro, con planos de clivaje arqueados y pleocroísmo, al cruzar nicoles generan colores de interferencia altos y extinción paralela.

Generalmente las láminas se encuentran flexuradas o con alguna evidencia de deformación por compactación (Figura V.9. y Figura V.10).

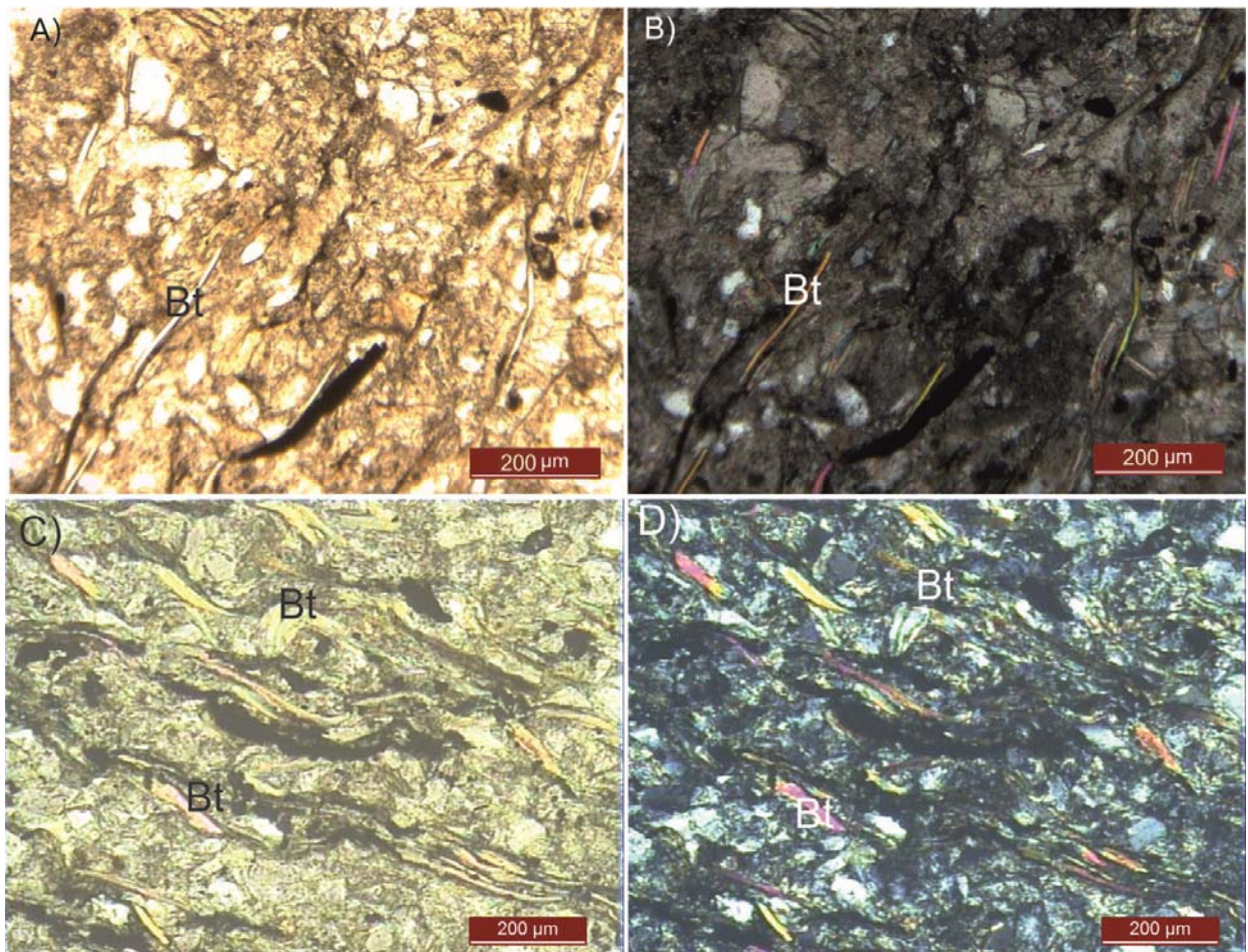


Figura V.9: Microfotografía de granos de micas flexuradas. A) Sin nicols y B) con nicols cruzados se muestran los granos de micas obtenidos del pozo TCA 10; metro 137 bbp. En las fotos C) sin nicols y D) con nicols cruzados se muestran granos de biotita flexurados o deformados por compresión.

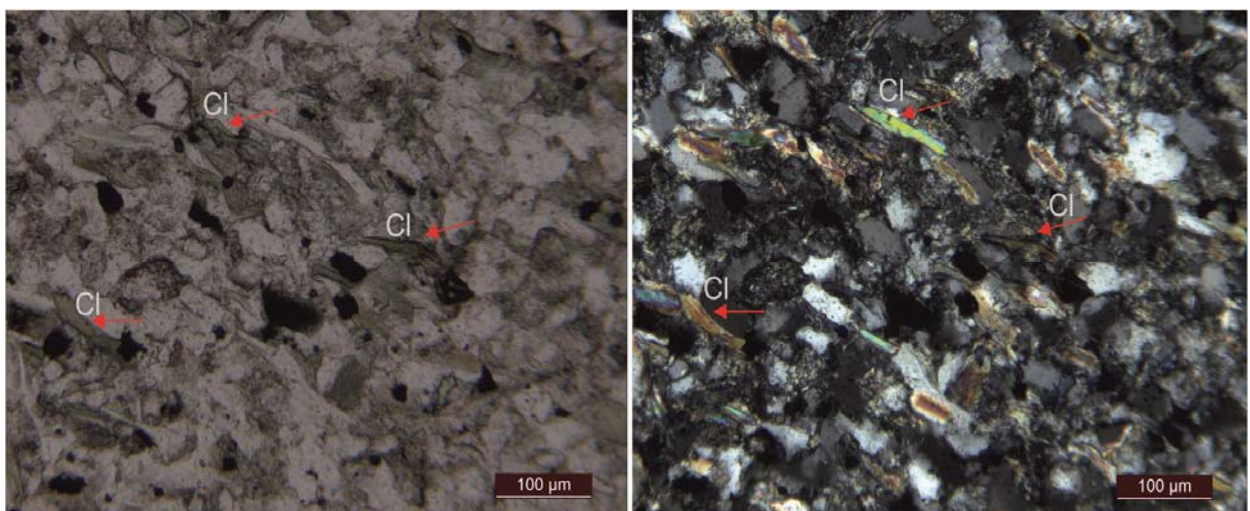


Figura V.10: Microfotografía de granos de clorita, flecha roja. A) Sin nicols y B) con nicols cruzados se muestran cristales de clorita (flechas rojas) obtenidos del pozo TCA 10; metro 101 bbp.

V.4.1.4. Líticos

Los líticos son muy escasos, participan en porcentajes < al 1%, hay que tener en cuenta que el tamaño de grano es fino a mediano lo cual dificulta la concentración de los mismos. Estos son redondeados a subredondeados, de colores oscuros entre grises y pardos. Por su extinción interna con nicoles cruzados, donde se llegó a observar en entramado denso de tablillas de plagiclasa en una pasta totalmente oxidada, probablemente de origen vítreo, lo cual permite inferir que se trata de líticos de origen volcánico (Figura V.11).

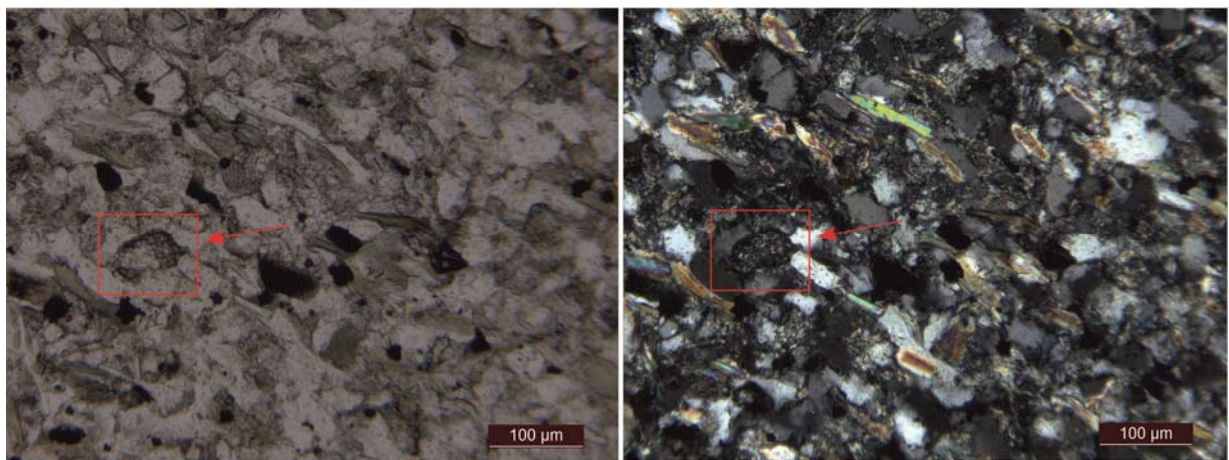


Figura V.11: Microfotografía de grano de lítico volcánico obtenidos del pozo TA 22; metro 120 bbp.
A) Sin nicoles y B) con nicoles cruzados.

V.4.1.5. Opacos

Un componente común en algunas muestras y que se observa tanto en las lutitas negras como en las limolitas grises a verdes, son los cristales de pirita y en las arenas rojizas finas dendritas de manganeso.

Los minerales opacos no superan el 5%, en general se encuentran localizados en algunos sectores y no a lo largo de todos los perfiles.

Los cristales de pirita poseen formas cúbicas a pseudocúbicas con bordes definidos, y en menor medida subredondeadas y con frecuencia presentan un "halo" de oxidación. Los óxidos de manganeso aparecen se presentan como "manchas" o patinas oscuras (Figura V.12), y es común observarlos, en muestra de mano, formando dendritas de manganeso en las caras perpendiculares a la laminación.

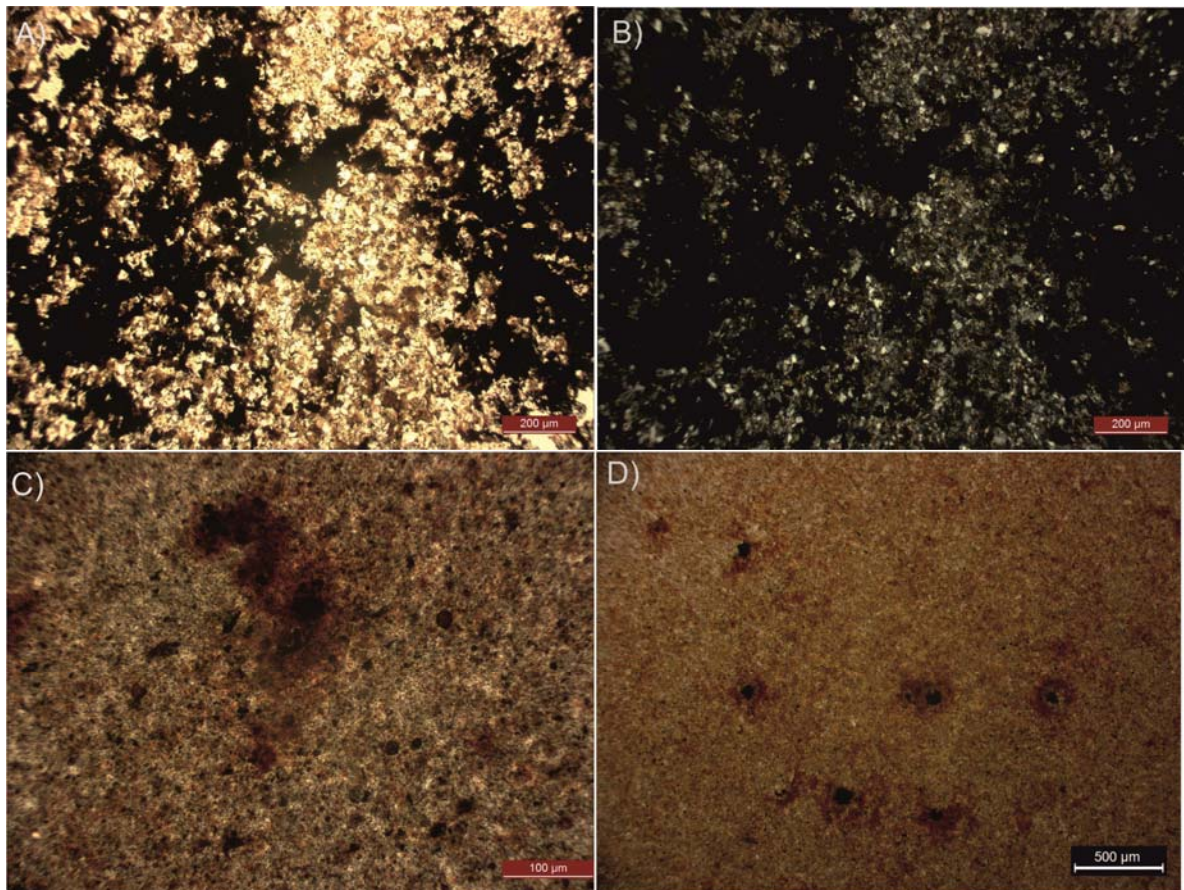


Figura V.12: Microfotografía con abundancia de minerales los opacos. A) Sin nicoles y B) con nicoles cruzados, pertenecen al testigo TA 22 a la muestra del metro 68 bbp, se observa la “patina” de manganeso opaca sin y con nicoles. Las figuras C) y D) muestran granos de pirita cúbicos a sub redondeadas con sus “halos” de oxidación.

V.4.2 Cementos

Las arenas finas a medianas tienen cemento de calcita subesparítica a esparítica en mosaico, que predomina en todas las muestras. Generalmente los cristales poseen tamaños variables de escasos micrones a decenas de micrones. Los cristales mayores de calcita permiten diferenciar con luz polarizada el típico clivaje en tres direcciones.

Otro tipo de cemento que se encuentra en menor proporción es el de tipo pelicular argílico y ferruginoso, difícil de diferenciar ya que muchas veces las arenas se encuentran entremezcladas con material pelítico. Este tipo de cemento cierra totalmente la porosidad intergranular de las areniscas. Todas estas variedades se muestran en la **Figura V.13**.

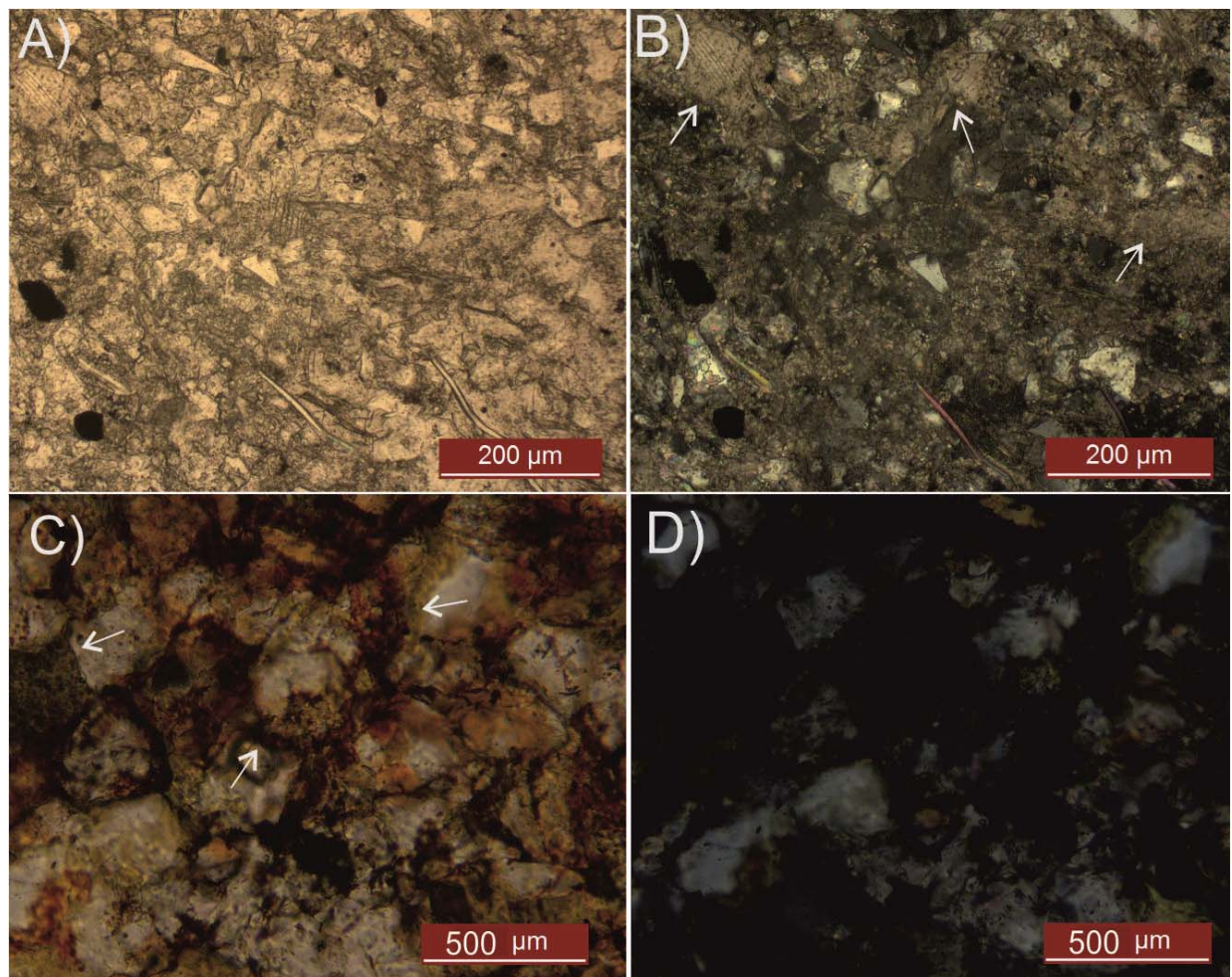


Figura V.13: Microfotografía de los tipos de cemento en las areniscas finas a medias A) Sin nicoles y B) con nicoles cruzados se observa el cemento calcáreo, el corte petrográfico pertenecen al testigo TCA 10 a la muestra del metro 103. En la foto C) sin nicoles y D) con nicoles cruzados se observa el cemento argílico – ferruginosos, corte delgado corresponde al testigo TA 22 metro 98.

V.4.3 Microestructuras.

El análisis petrográfico permite no solo observar detalladamente a los componentes principales de las rocas, sino también ver la relación entre ellos. En texturas finas como es el caso de las rocas que comprenden este trabajo, se pueden distinguir laminaciones paralelas como típica estructura interna planar y laminación convoluta representando a las estructuras deformacionales (Figura V.14).

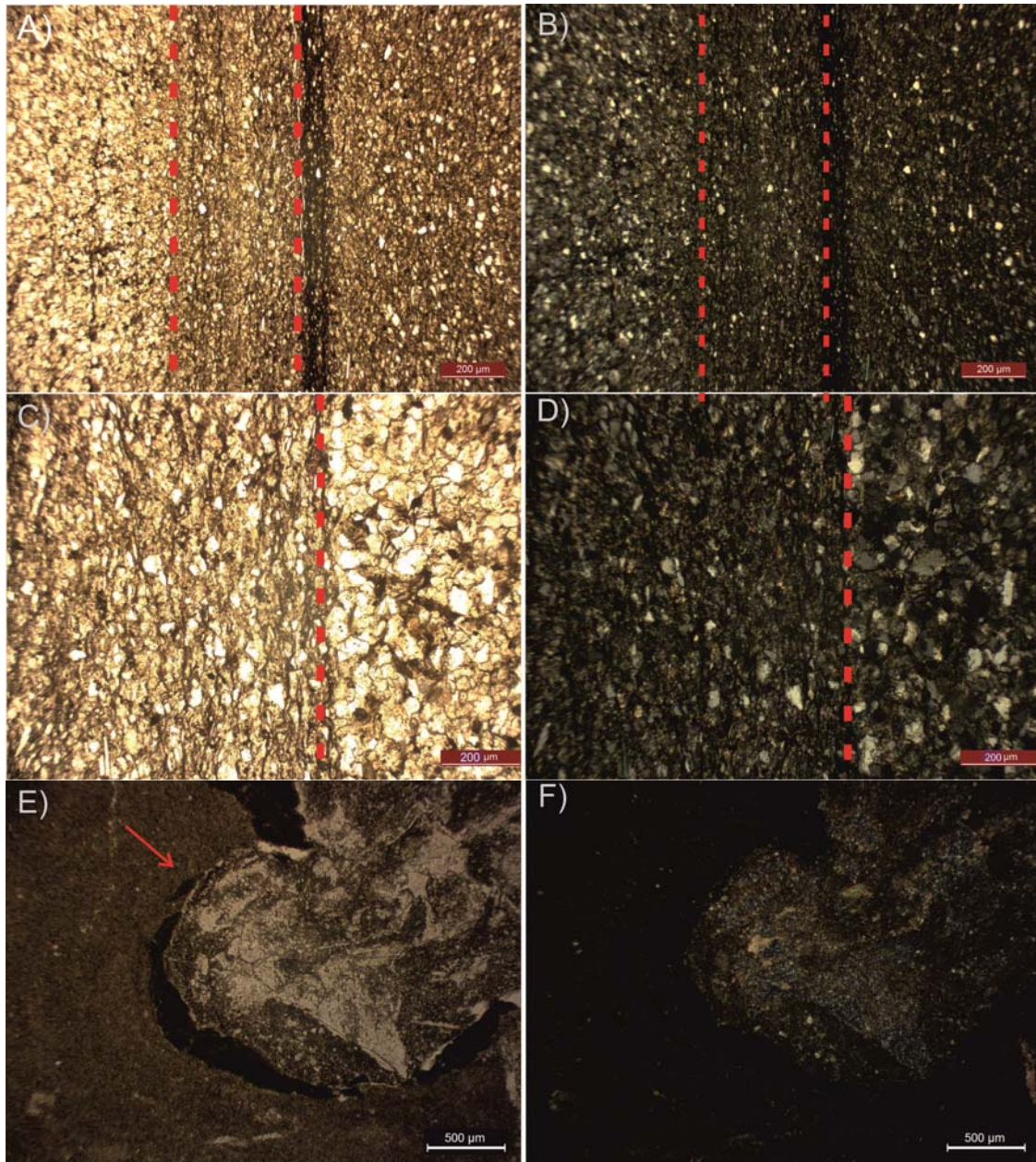


Figura V.14: Microfotografía de las Microestructuras presentes en las areniscas finas a medias.

En las figuras A) Sin nicoles y B) con nicoles cruzados, pertenecen al testigo TCA 10, metro 103 bbp. En las C) Sin nicoles y D) con nicoles cruzados, muestra TA 22, metro 101 bbp; se observa una laminación dada por un bandeamiento textural. En las figuras E) Sin nicoles y F) con nicoles cruzados, pertenecen al testigo TCA 10, metro 115 bbp, donde se observa una laminación convoluta (estructura deformacional – detalle figura III.2.2)

V.4.5 Brechas calcáreas, fangolitas y bochones de ftanita.

Como se mencionó en el capítulo III, el contacto superior de la Formación Loma Negra, corresponde a una paleosuperficie de relieve irregular de carácter erosivo, en las cuales sus relieves negativos han servido de cubetas para la sedimentación de las facies de brechas de talud de ftanita y fangolitas (Barrio *et al.*, 1991).

Se realizaron cuatro cortes petrográficos de esta facies, dos de ellos surgen de los sondeos TA 22 metros 164,5/ 165 y los dos restantes del sondeo TA 23 metro 73,5.

Hay que tener en cuenta que esta facies no está presente siempre o en todos los frentes de cantera o testigos coronas. Como se mencionara anteriormente forma parte de un depósito que es de distribución irregular, producto de un fenómeno de disolución cárstica que no se presenta con igual intensidad en todos los sectores y por lo tanto su registro tampoco es continuo.

En esta facies, se observan por microscopía cristales de calcita del tipo esparita y macroesparita con cristales de tamaños que pueden llegar hasta el centímetro (Figura V.15), los cuales están en contacto con cristales de ftanita o *chert*; es importante destacar que desde el punto de vista mineralógico, el *chert* está constituido por tres minerales silíceos: cuarzo (microcristalino), calcedonia (cuarzo criptocristalino) y ópalo (sílice amorfa con agua). Para las muestras analizadas en este trabajo se reconoce en la ftanita un fuerte predominio de cuarzo microcristalino sobre los otros dos componentes, este con bordes difusos y extinción ondulosa. Por otra parte el ópalo es escaso, con tonalidades rosadas y solo se lo ha reconocido ocasionalmente. Se observa eventualmente litoclastos sedimentarios de lutitas negras que forman parte de los componenets de la brecha.

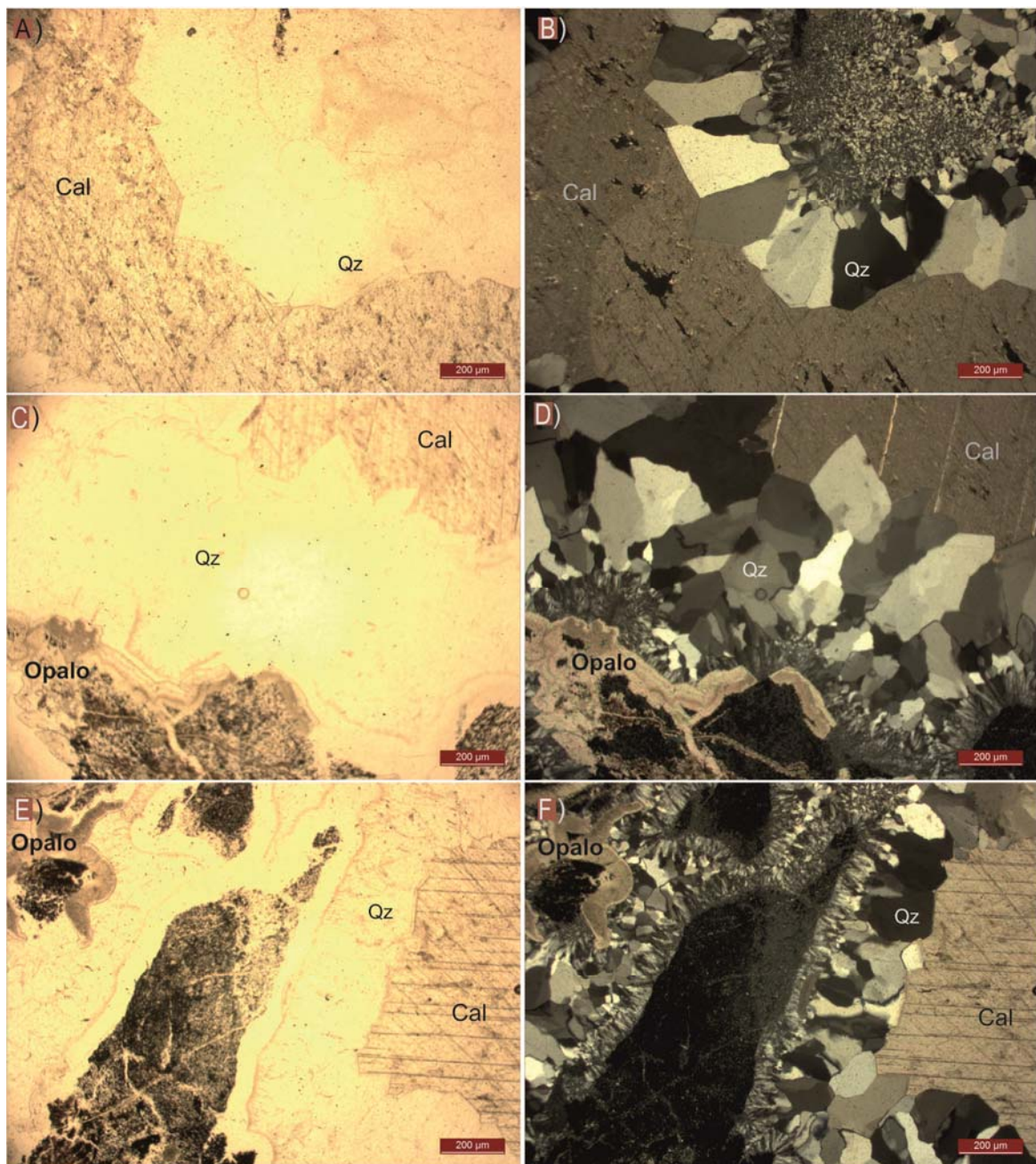


Figura V.15: Microfotografía en donde se puede observar los cristales de calcita junto a los cristales de ftanita A) Sin nicoles y B) con nicoles pertenece al testigo TA 22 del metro 164.5. En las fotografías C) Sin nicoles y D) con nicoles, pertenecientes al testigo TA 23 metro 73,5 tanto par a las fotografías E) sin nicoles y F) con nicoles tomadas del testigo TA 22 metro 165. Muestran la presencia de ópalo/ calcedonia, junto con el cuarzo microcristalino y cristales de calcita.

V.5 Clasificación de Areniscas.

Para realizar la clasificación de las areniscas se utilizaron dos aspectos, que han demostrado ser de los más útiles, la composición de los clastos y el porcentaje de matriz.

Se seleccionaron 9 cortes petrográficos pertenecientes a las facies de arenas finas a medianas provenientes del yacimiento Alicia (perfiles TA 22, TCA 10 y TA 23) y de la Cantera Cerro Negro (Perfil Cerro Negro).

Se llevó a cabo un conteo de los componentes detríticos de estas areniscas, del cual se obtuvo la lectura de 200 puntos. Estos se utilizaron para recalculer las modas detríticas (Ingersoll *et al.*, 1984) y ubicar las muestras en los gráficos composicionales de Folk *et al.* (1970) y Dott (1964), modificado por Pettijohn *et al.* (1972) y en los gráficos de procedencia propuestos por Dickinson *et al.* (1983) (Figura V.16). Es importante señalar que se usaron los gráficos correspondientes a las arenitas ya que el porcentaje de matriz encontrado fue menor al del 15%.

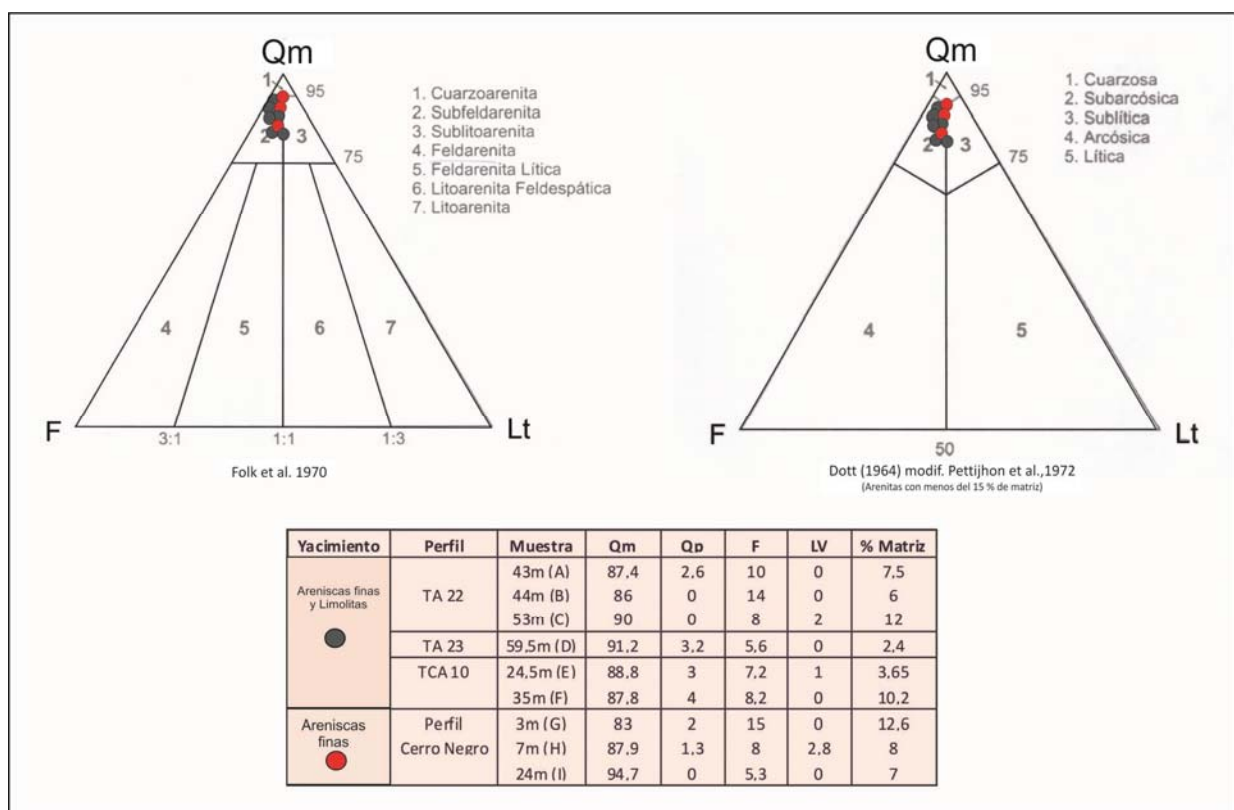


Figura V.16: Clasificación de las muestras de areniscas analizadas para los Yacimientos Alicia y Cerro Negro según las clasificaciones de Folk *et al.* (1970) y Dott (1964), modificado Pettijohn *et al.* (1992).

Como se observa en la figura V.16, las muestras del Yacimiento Alicia como las del yacimiento Cerro Negro son subfeldarenitas según *Folk et al* (1970) y subarcosicas según *Dott* (1964). Una arenisca subfeldespática está caracterizada por tener una relación feldespato/líticos mayor a 1, menos del 95% de granos de cuarzo monocristalino y bajos contenidos de matriz (< al 15%).

Con los datos de la tabla de la **Figura V.16** se graficaron los diagramas de *Dickinson et al.* (1983) con el propósito de determinar el ambiente tectónico de las áreas de aporte de los sedimentos que dieron origen a las rocas en cuestión, **Figura V.17**.

Según lo que puede observarse en los triángulos de procedencia el total de las muestras estudiadas, para los diagramas Q-F-L y Qm-F-L, se ubican en el campo de interior cratónico.

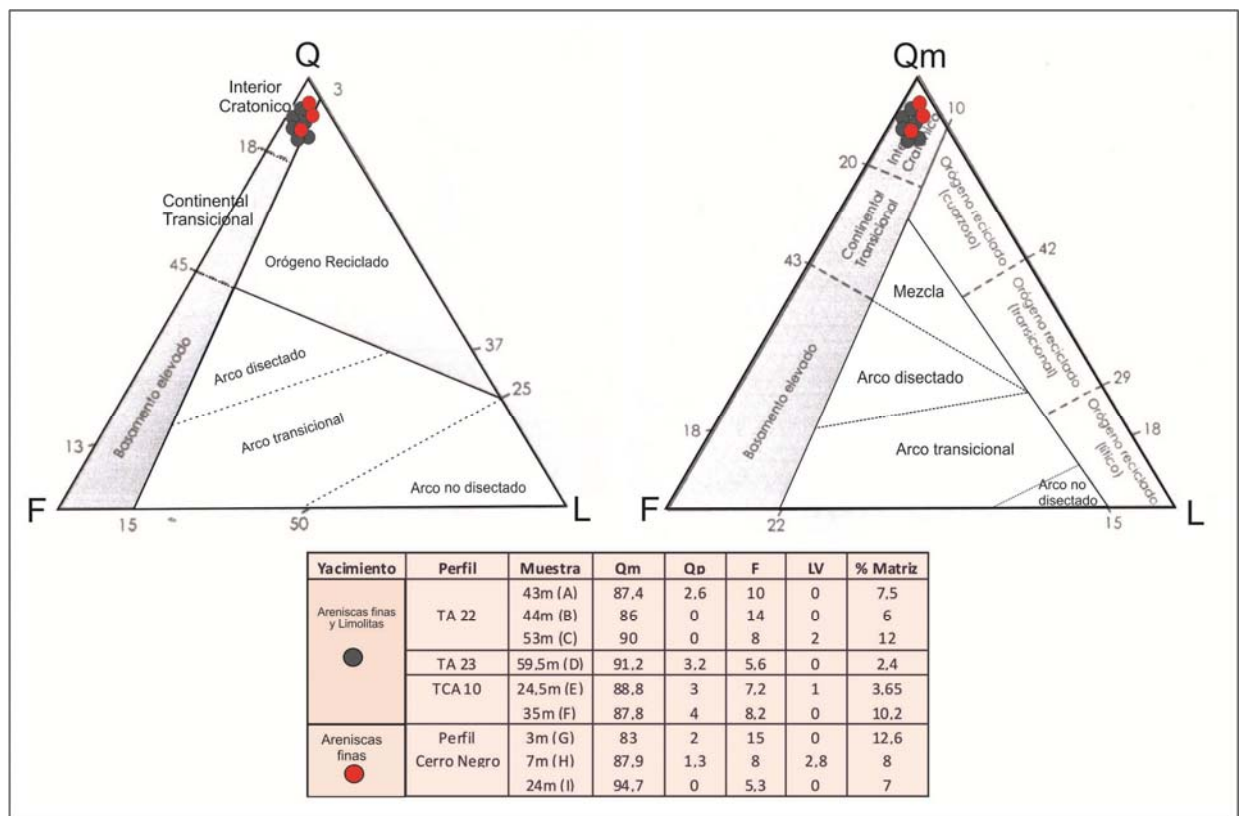


Figura V.17: Diagramas de procedencia que ubican a las muestras de areniscas analizadas para los yacimientos Alicia y El Polvorín, modificado de *Dickinson et al.*, (1983). Abajo se observa la tabla con los resultados del recalcule de los minerales principales (Qm: cuarzo monocristalino; QP: cuarzo policristalino; F: feldespatos; Lv: Líticos volcánicos) al 100%.

V.6 Conclusiones preliminares

El análisis petrográfico de los 51 cortes delgados, ha permitido realizar las siguientes consideraciones:

- I. Los componentes principales de las areniscas finas a medianas son el cuarzo monocrystalino, plagioclasas, arcillas y micas; siendo los componentes minoritarios clastos líticos y minerales opacos (Figuras V.5, 6, 7, 8 y 12).
- II. La presencia de plagioclasa de carácter ácido a intermedio y de biotita, es una clara evidencia de un cambio en el aporte detrítico ya que las mismas se encuentran ausentes en la parte media y superior del Grupo Sierras Bayas (Figuras V.8 y V.9).
- III. El cemento predominante es el carbonático de tipo esparítico; en menor proporción se encuentra el cemento argílico y ferruginoso, óxidos de manganeso, ftanita y macrocuarzo (Figuras V.13 y VI.15).
- IV. Siguiendo la clasificación de Folk *et al.* (1970) y de Dott *et al.* (1964), modificada por Pettijohn *et al.* (1972), las arenitas finas a medias son subfeldarenitas y arenitas subarcosicas respectivamente (Figura V.16).
- V. En los diagramas triangulares de procedencia de Dickinson *et al.* (1983) se definió una única población, que las ubica en el campo de **interior cratónico**. Los resultados para el diagrama Qt-F-L, son los mismos que para el diagrama Qm-F-Lt, debido a la ausencia total de cuarzo policristalino (Figura V.17).
- VI. Partiendo de lo dicho en los puntos IV y V, se interpreta que las areniscas son textural y composicionalmente maduras lo que indica una larga historia de transporte y reciclado, lo cual concuerda con un posible origen cratónico.
- VII. Las pelitas y margas están conformadas por abundante micrita, argilominerales y material no distinguible bajo microscopio petrográfico en secciones delgadas, a excepción de los cristaloclastos de cuarzo de tamaño limo.
- VIII. Se reconocen microestructuras sedimentarias como ser: laminación paralela y deformación sinsedimentaria (Figuras V.4 F y V.14).
- IX. Se describen en la base de los perfiles (Pasaje entre Formación Loma Negra y las unidades suprayacentes) brechas calcáreas, fangolitas y bochones de ftanita, de las cuales se hizo una breve descripción óptica desatancando cristales de calcita recristalizada, chert y litoclastos sedimentarios de lutitas (Figura V.15).
- X. Fueron reconocidos Algunos rasgos de deformación como la flexura de algunos componentes lábiles tales como las micas (muscovitas y biotitas), de disolución de bordes de granos (cuarzo) y de compactación química como el desarrollo de estilolitas.

CAPÍTULO VI

VI. Análisis Geoquímico

VI.1 Generalidades

VI.2 Selección de muestras y metodología

VI.3 Elementos mayoritarios y minoritarios

VI.4 Elementos traza y tierras raras

VI.5 Clasificación geoquímica de las muestras analizadas

VI.6 Análisis de procedencia

VI.7 Anomalías de Ce y La

VI.8 Análisis de la materia Orgánica

VI.9 Conclusiones preliminares

Capítulo VI

(Análisis Geoquímico)

VI. 1.Generalidades

El análisis geoquímico es una herramienta esencial cuando se trabaja con rocas pelíticas, ya que otros métodos como la petrografía y la difracción por rayos X, no brindan la información necesaria para completar el estudio de los materiales finos.

La composición química de los componentes sedimentarios esenciales, es decir los que provienen de la desintegración de rocas previas, es probablemente el mayor control químico que tienen las rocas sedimentarias, aunque ésta se puede modificar en gran medida por los procesos posteriores como la meteorización y la diagénesis. Por lo tanto, la importancia de realizar estudios geoquímicos en rocas clásticas es fundamental para conocer la proveniencia del material detrítico que forma a las sedimentitas (Rollinson, 1993).

El estudio geoquímico de las sedimentitas se puede dividir en etapas de análisis de acuerdo a los tres grandes grupos de elementos químicos que proporcionan diferente información. Estos grupos son el de los Elementos Mayoritarios (Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mg, Na, K), Elementos Traza (Cr, V, Sc, Ni, etc.) y las Tierras Raras (La, Ce, Pr, Nd etc.) (Ver más adelante).

La geoquímica de elementos mayoritarios se utiliza generalmente para la clasificación de rocas sedimentarias silicoclásticas y realización de diagramas de variación geoquímica que permiten estimar el grado de alteración meteórica de las rocas, con diferentes índices químicos como ser, $CIA = ((Al_2O_3) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)) * 100$ (Nesbitt y Young, 1982) y K / Cs , (Mc Lennan *et al.*, 1993), entre otras aplicaciones.

El análisis de los elementos mayoritarios debe ser tratado con prudencia, por ser estos elementos muy móviles y de muy fácil redistribución en los procesos químicos y diagenéticos, lo que puede llevar a alcanzar conclusiones equivocadas (Taylor y McLennan, 1985; Bhatia y Crook, 1989).

Los elementos traza se definen como aquellos que se presentan en las rocas en concentraciones menores a 1% o en unidad de partes por millón (ppm) menores a 1000 ppm (Rollinson, 1993) y las tierras raras (*rare earth elements* REE) son aquellos metales con número atómico que van del 57 al 71; a su vez las REE se pueden dividir en tierras raras livianas (*light rare earth elements* **LREE**), que son aquellas con bajo número atómico (57 al 63) y en las tierras raras pesadas (*heavy rare earth elements* **HREE**) que son aquellas con número atómico mayor a las primeras (63 al 71).

Las REE tienen propiedades químicas y físicas muy similares entre sí. Las diferencias que existen en el comportamiento químico son consecuencia de la disminución, pequeña pero constante, en el tamaño iónico a medida que crece el número atómico.

Estas pequeñas diferencias son las que permiten el fraccionamiento de las REE durante los procesos de cristalización magmática, fenómeno por el cual son muy utilizadas en la geoquímica para explorar la génesis de las suites químicas de las diferentes rocas (Mc Lennan *et al.*, 2006; Zimmerman *et al.*, 2011). Esto es muy importante para la identificación de áreas de aporte y ambientes tectónicos de las unidades estudiadas y más aún, si tenemos en cuenta que los minerales de arcilla, muy abundantes en este estudio, tienen concentraciones mayores de REE que las fracciones más gruesas (Culler *et al.*, 1987).

La concentración usada de tierras raras para diferentes rocas, generalmente, es referida a un estándar; éste se tomó sobre meteoritos (Chondrites) que fueron elegidos porque se cree que son muestras relativamente no fraccionadas del sistema solar (Taylor y Mc Lennan, 1985). Esta normalización tiene dos funciones importantes, primero eliminar las variaciones de abundancia entre los números atómicos pares e impares y segundo permite que cualquier fraccionamiento o grupo de REE referido a un *chondrites* sea identificado y comparado. Valores normalizados son identificados con una N o un * en la parte superior izquierdo del elemento en cuestión, este último es lo que se utiliza en este trabajo.

Es importante remarcar que ciertos elementos traza (como el Th, Sc, Zr y La) y las tierras raras (REE) son muy valiosos en los estudios geoquímicos, ya que son elementos poco móviles, y como consecuencia su concentración inicial no suele verse afectada por procesos postdeposicionales, preservando así las propiedades químicas de la roca madre en el registro sedimentario (Bhatia y Crook, 1986; Mc Lennan *et al.*, 1990, 1993, 2003).

Por otro lado, uno de los análisis más requeridos en pelitas negras es la medición del carbono orgánico presente en las mismas. En este sentido, el análisis de Carbono Orgánico Total (COT) constituye entonces un parámetro importante en las rocas de coloraciones oscuras (gris oscuro a negro) y de texturas finas, debido a que refleja la riqueza en materia orgánica de las rocas sedimentarias. El contenido de TOC en las rocas se expresa en términos de por ciento en peso de carbono orgánico (% C_{org}).

Teniendo cuenta que las rocas que se estudian en este trabajo son mayormente de textura fina a muy fina, los estudios geoquímicos resultan fundamentales para conocer la procedencia de los materiales que llegaron a la Cuenca de Tandilia ya que existen varios modelos paleogeográficos que proponen un desarrollo de la corteza oceánica entre los cratones del sur de África (Cratón de Kalahari y Congo) y los cratones del sur de América del Sur (Río de La Plata, San Francisco y Amazonas) y luego

su cierre durante el Ediacareano superior al Cámbrico (Frimmel, 1996), tema que será discutido más adelante.

Un punto importante a remarcar, es que las rocas aquí estudiadas constituyen un caso ideal para los estudios geoquímicos, ya que las mismas se presentan prácticamente sin signos de metamorfismo y con escasa deformación tectónica.

Entre los antecedentes más importantes en análisis similares a los aquí presentados, pero que fueran enfocados principalmente a dilucidar la procedencia de una parte de las unidades en estudio (sin incluir a las lutitas negras) fueron presentados por Zimmermann *et al.* (2011). Estos autores indicaron que La Formación Cerro Negro tendría una clara afinidad con una procedencia volcánica y que la misma se relacionaría a un arco continental o de isla, mostrando un importante cambio de procedencia con respecto al Grupo Sierras Bayas que tiene afinidades de orógeno reciclado, altamente retrabajado (Zimmermann *et al.*, 2011).

VI.2 Selección de muestras y metodología

Las muestras seleccionadas para los análisis geoquímicos fueron elegidas bajo dos premisas fundamentales: que sean texturalmente finas y que no se encuentren alteradas.

La selección de las muestras fue apoyada por los resultados que se obtuvieron anteriormente de los análisis por difracción de rayos X (Capítulo IV).

El total de las muestras analizadas, todas ellas provenientes de testigos corona, es de 29, para las mismas se determinaron elementos mayoritarios, traza y tierras raras. Se hizo foco fundamentalmente en las facies de lutitas negras (Ln) de las cuáles se analizaron 19 muestras, 6 muestras de las facies de pelitas rojas (Pr) y 4 muestras de las facies de Margas (M). Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de ALS Laboratory Group, con sede en la provincia de Mendoza y casa central en Canadá.

Los métodos empleados fueron fluorescencia de rayos X (FRX; para los elementos mayoritarios) y espectrometría de masas con plasma acoplado por inducción (ICP-MS) para determinaciones de elementos traza y tierras raras. Los resultados de los análisis son presentados en diferentes tablas (Tabla VI. a, b, c y d) en las que se indica la ubicación de las muestras (yacimiento, profundidad a la que se encuentra la muestra y testigo de perforación al que pertenecen) y a que litología corresponde.

Para los análisis del COT (Carbono Orgánico Total) se utilizaron exclusivamente muestras de las facies lutitas negras. Más adelante se detallará sobre este tipo de análisis.

Para todos estos estudios se tuvieron en cuenta secciones de perfiles sedimentológicos que están bien caracterizadas, secciones no alteradas y que se encuentren en yacimientos diferentes (yacimiento La Cabañita y Yacimiento Alicia, Capítulo III Figura), con el fin de tener dos zonas de estudio bien caracterizadas geoquímicamente.

A continuación se especifican las Tablas con los distintos resultados obtenidos con las siguientes técnicas de análisis.

- ALS: Resultados de los análisis llevados a cabo en el laboratorio *ALS Laboratory Group* (Tabla VI.3.a; VI.4.a; VI.4.b).
- TOC: Resultados de los análisis llevados a cabo por GeoLab Sur. Geochemical Laboratory (Tabla VI.7.a).

VI.3. Elementos mayoritarios y minoritarios

Los resultados obtenidos por FRX fueron volcados en la [tabla VI.3.a](#) en la cual se detalla las muestras analizadas en el laboratorio ALS, en la cual todos los valores se encuentran expresados en % de óxidos.

Los contenidos en elementos mayoritarios y minoritarios para las muestras analizadas se separan en tres grupos, dos de ellos representados por rocas silicoclásticas (facies Lng y PArm) y otro conformado por rocas margosas/carbonáticas. Como se puede observar cada grupo está representado por un color diferente (Margas: violeta, Lutitas negras: gris y Arcilitas Rojas: Rosa) tanto en las tablas como en los gráficos que se presentan a continuación.

Como se observa en la [Tabla VI.3.a](#) y la [Figura VI.3.1](#) las rocas silicoclásticas (Lutitas negras – Arcilitas rojas) no presentan fuertes variaciones entre sí en relación a sus concentraciones en elementos mayoritarios, pero si se comparan con el grupo de rocas margosas las diferencias son notables, se puede observar un pico importante que evidencia el enriquecimiento en CaO para las facies margosas con un marcado empobrecimiento en SiO₂ y en Al₂O₃.

Localidad	Muestra	Litología	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 37m	Arcilla Roja	62,9	15,8	6,16	1,29	2,16	1,41	3,71	0,78	0,1	0,1	0,01	0,07	4,59	99,1
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 50m	Arcilla Roja	57,3	17,6	9,05	0,63	2,72	0,55	4,42	0,76	0,08	0,09	0,01	0,08	4,69	98
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 58m	Arcilla Roja	49,3	14,65	7,54	9,57	2,6	0,42	3,63	0,61	0,16	0,17	0,02	0,14	11,35	100
Yacimiento Alicia	TCA3 - 52 m	Arcilla Roja	64,2	19,6	3,95	0,29	1,36	0,97	5,04	1,01	0,01	0,04	0,01	0,1	3,82	100,5
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 35 m	Arcilla Roja	53,3	22,7	8,61	0,24	3,08	0,59	6,23	1	0,06	0,11	0,01	0,09	5,5	101,5
Yacimiento El Polvorin	Ht 9 - 9m	Arcilla Roja	30,2	7,85	4,01	28,3	0,96	0,05	2,58	0,35	0,13	0,06	0,04	0,23	24,3	99,1
Yacimiento Alicia	TA 22 - 43 m	Lutita	59,1	17,2	9,52	0,34	3,17	1,6	3,28	0,76	0,06	0,11	0,01	0,06	4,67	99,9
Yacimiento Alicia	TA 22 - 57m	Lutita	54,8	21,5	7,29	0,3	3,07	1,08	5,31	1,03	0,13	0,12	0,01	0,1	4,59	99,4
Yacimiento Alicia	TA 22 - 63,50m	Lutita	58,3	17,15	7,39	1,41	2,62	1,32	4,11	0,84	0,23	0,15	0,01	0,07	4,64	98,3
Yacimiento Alicia	TA 22 - 85m	Lutita	56,5	20,6	7,56	0,18	2,72	1,12	5,02	0,85	0,08	0,08	0,01	0,07	4,17	99
Yacimiento Alicia	TA 22 - 100m	Lutita	56,3	20,3	8,39	0,19	2,86	0,85	5,29	0,85	0,05	0,15	0,01	0,08	4,22	99,6
Yacimiento Alicia	TA 22 - 116m	Lutita	57,4	19,9	7,21	0,25	2,73	1,44	4,65	0,95	0,06	0,17	0,01	0,07	4,13	99
Yacimiento Alicia	TA 22 - 140m	Lutita	52,5	22,2	7,76	0,29	3,13	0,93	5,73	1,04	0,06	0,11	0,01	0,08	5,24	99,1
Yacimiento Alicia	TA 22 - 161m	Lutita	56,7	18,85	11,6	0,23	2,64	0,7	5,21	0,75	0,03	0,12	0,01	0,07	4,18	101
Yacimiento Alicia	TA 22 - 169m	Lutita	55,5	20,4	8,46	0,21	2,77	0,37	5,78	0,96	0,03	0,07	0,01	0,07	4,89	99,5
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 39 m	Lutita	53	22,4	7,79	0,22	2,81	0,56	6,36	1,01	0,05	0,08	0,01	0,09	5,49	99,89
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 44 m	Lutita	54,9	21	8,6	0,24	3	0,74	5,48	1,02	0,07	0,11	0,01	0,08	5,28	100,6
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 35 m	Lutita	52,2	22,5	8,81	0,26	3,14	0,67	5,89	1	0,06	0,12	0,01	0,09	5,62	100,4
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 39 m	Lutita	55,7	20	7,65	0,25	2,71	0,85	5,24	0,97	0,06	0,1	0,01	0,08	4,91	98,54
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 44 m	Lutita	53,3	20,2	9,58	0,23	3,05	0,41	5,38	0,79	0,05	0,13	0,01	0,08	5,31	98,53
Yacimiento La cabañita	TDH11 - 38 m	Lutita	60	18,65	7,57	0,43	2,62	1,44	4,45	0,92	0,08	0,11	0,01	0,07	4,33	100,7
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 35 m	Lutita	54,8	22,3	8,13	0,26	2,95	0,75	6,14	0,96	0,06	0,11	0,01	0,09	5,28	101,9
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 39 m	Lutita	54,3	20,9	9,53	0,26	2,96	0,52	5,77	0,87	0,06	0,14	0,01	0,08	5,2	100,6
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 44 m	Lutita	55,9	22	7,25	0,21	2,86	0,61	6,16	1,03	0,04	0,1	0,01	0,08	5,38	101,7
Yacimiento Alicia	TCA3 - 87 m	Lutita	60,6	20,1	5,61	0,17	1,67	0,98	4,98	1,01	0,03	0,03	0,01	0,1	4,25	99,6
Yacimiento Alicia	TCA2 - 97 m	Marga	6,56	1,86	1,92	48,3	0,72	0,12	0,48	0,1	0,4	0,12	0,06	0,62	37,1	98,4
Yacimiento Alicia	TA 22 - 170m	Marga	8,2	1,75	0,71	47,8	0,77	0,05	0,56	0,09	0,44	0,05	0,04	0,47	38,6	99,5
Yacimiento Alicia	TA 22 - 171m	Marga	19,5	4,5	2,49	38,1	0,98	0,05	1,33	0,21	0,23	0,04	0,05	0,2	31,8	99,5
Yacimiento Alicia	TA 25 - 59 m	Marga	7,64	0,89	0,68	49,9	0,23	0,02	0,24	0,06	0,08	0,08	0,05	0,04	39,7	99,6

Tabla VI.3.a: Resultados de los análisis de los elementos mayoritarios llevados a cabo en el laboratorio *ALS Laboratory Group*.

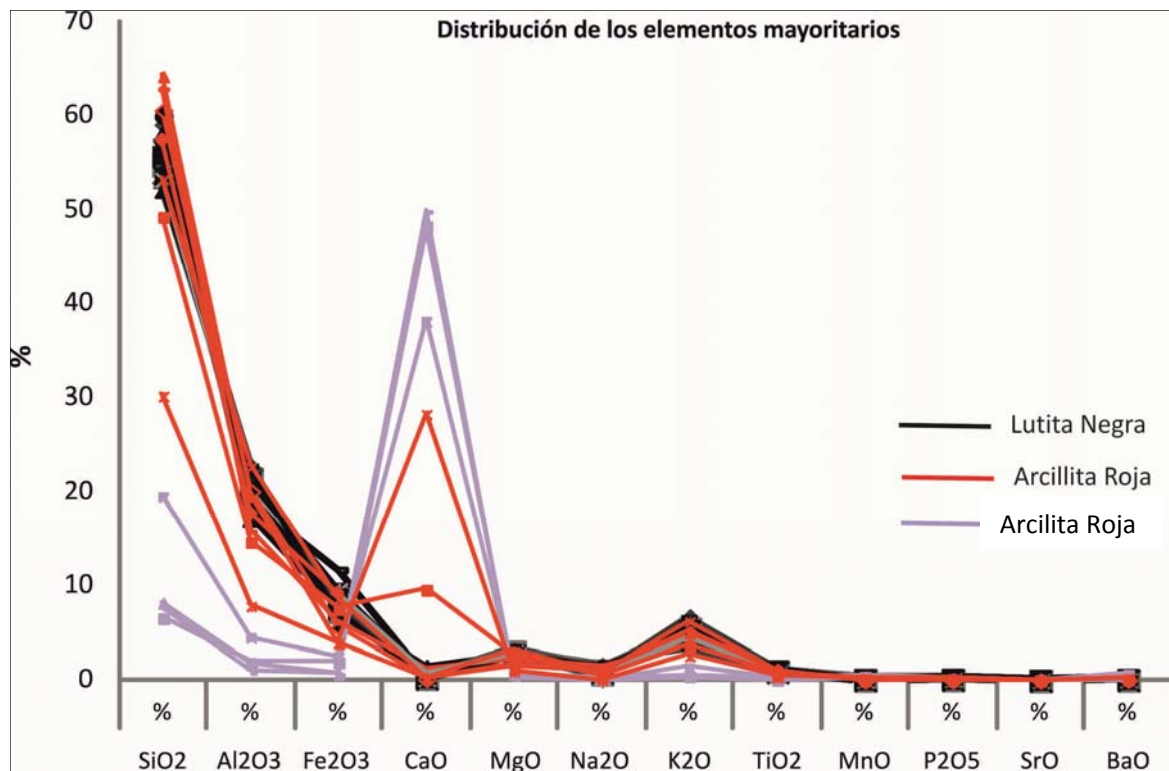


Figura VI.3.1: Distribución de los elementos mayoritarios en las facies de lutitas negras, arcillitas rojas y margas. Obtenidos en laboratorio *Laboratory Group* (LAS)

Si se observan los contenidos de óxidos por separado encontramos que la sílice (SiO₂) se encuentra en un promedio de 55,3 % para las rocas silicoclásticas y de 10,4 % para las margas. La alúmina (Al₂O₃) promedio es de 19,23 % para las lutitas y arcillas rojas y es mucho menor en las margas, 2,25 % en promedio. Los valores promedio del Fe₂O₃ son relativamente altos para las arcillas y lutitas, 7,78%, siendo para las margas más bajos, alrededor de 4,45 %. El MnO tiene un comportamiento similar al del Fe₂O₃, ya que se encuentra en un promedio de 2,56 % para las rocas silicoclásticas y de 0,34 % para las margas.

El TiO₂ tiene valores para las arcillas rojas y las lutitas, que promedian los 0,88 % y más bajo en las margas de 0,1 %.

En el caso del CaO, como se expresó anteriormente, el porcentaje más alto se encuentra en las margas (46,75 %) y los más bajos en las rocas silicoclásticas que promedian en un 1 %; aquí hay que hacer una salvedad para la muestra HT 9-9m que tiene un 28,3 % de CaO, lo que es un porcentaje relativamente alto para una arcilita roja, siendo necesario aclarar que esta muestra se tomó del límite entre la marga y las arcillas rojas (ver perfil “El Polvorín” Capítulo III), **lo cual se para los análisis siguientes se considerará como una roca margosa**. Como se mencionó antes, el alto contenido de CaO

en las margas se relaciona a la procedencia mixta de los minerales que la constituyen denotando un aporte detrítico del continente y una precipitación de calcita del ambiente marino.

La distribución de los elementos mayoritarios con respecto al contenido de SiO_2 se expresa como diagramas bivariantes de Harker (Alonso, 2011), que se presentan en la Figuras VI.3.2 y VI.3.2 bis. En estos gráficos se puede observar descriptivamente cómo se comportan las distintas facies dependiendo de los porcentajes de los elementos involucrados. En este caso, las facies de lutitas negras (Lng) y arcilitas rojas (PArm) tienen un comportamiento similar excepto en el porcentaje de Fe_2O_3 que es mayor para la facies de lutitas negras, lo que se lo puede atribuir a la presencia de abundante clorita rica en Fe, como se pudo observar en el capítulo IV. Relación expresada en la Figura VI.3.2 (a).

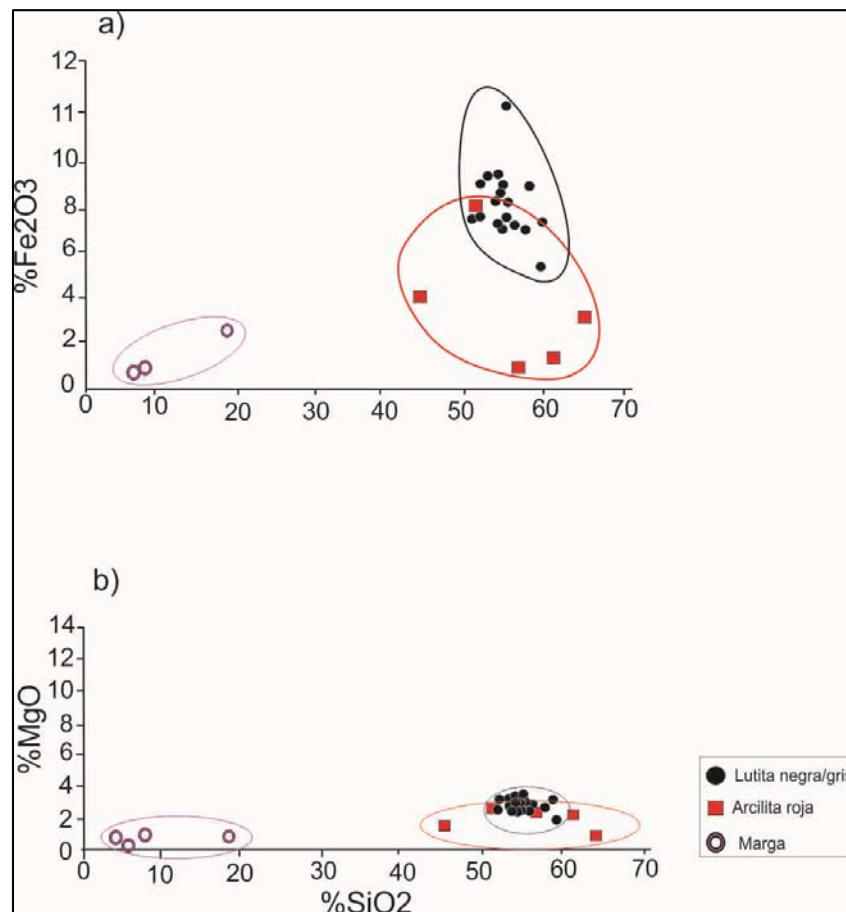


Figura VI.3.2: Diagramas bi-variantes de elementos mayoritarios seleccionados.

a) $\text{\%Fe}_2\text{O}_3$ Vs \%SiO_2 , b) \%MgO Vs \%SiO_2 ;

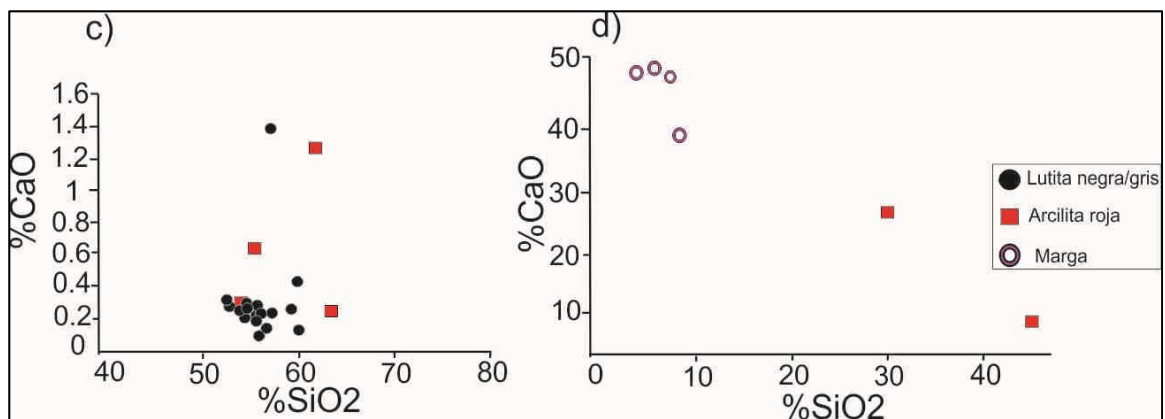


Figura VI.3.2: Continuación **c)** % CaO Vs % SiO₂ con % de Ca menores a 16 %;
d) % CaO Vs % SiO₂ con % de Ca mayores a 10 %.

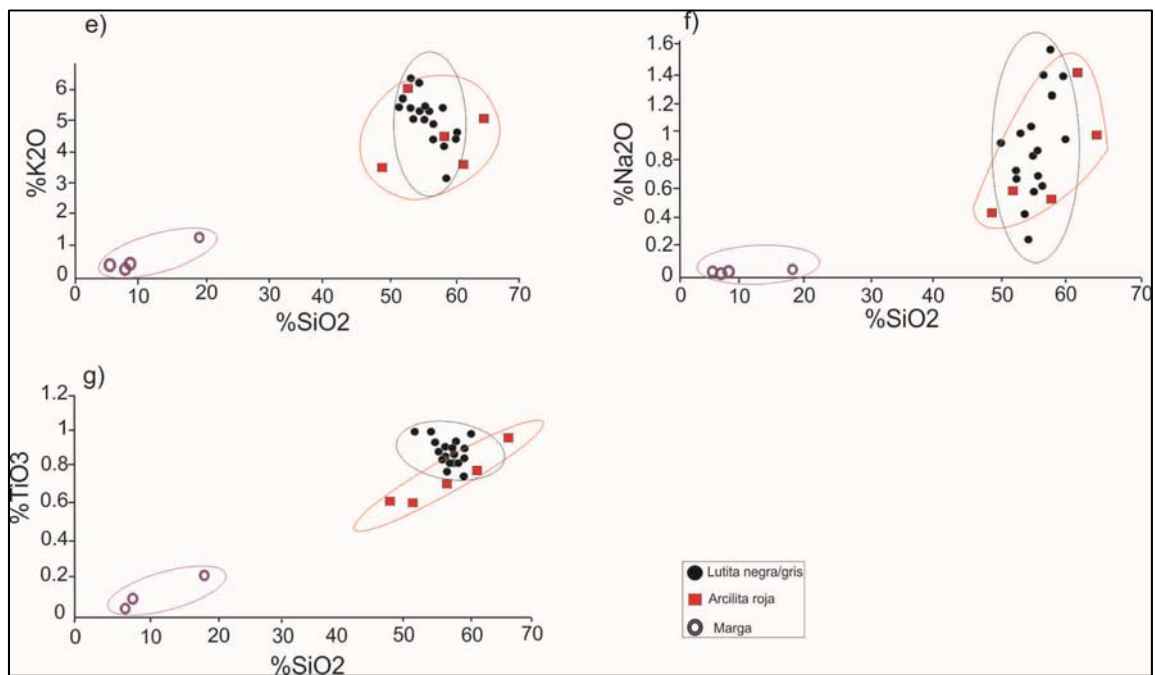


Figura VI.3.2: Diagramas bi-variantes de elementos mayoritarios seleccionados. **e)** % K₂O Vs % SiO₂;
f) % Na₂O Vs % SiO₂; **g)** % TiO₂ Vs % SiO₂.

VI.4. Elementos traza y tierras raras

Mediante la técnica de medición con ICP-MS se obtuvieron los valores en ppm de elementos que se encuentran en bajas concentraciones, como la mayoría de los minoritarios y las tierras raras.

A continuación se presentan las tablas (Tablas VI.4.a y VI.4.b) con los resultados obtenidos de los elementos minoritarios y tierras raras. Al igual que la tabla de los elementos mayoritarios las muestras analizadas se separan en tres grupos, dos de ellos representados por rocas silicoclásticas (facies Lng y PArm) y otro conformado por las rocas margosas (facies M) Todas los valores obtenidos están expresados en ppm.

Haciendo hincapié en los elementos minoritarios más importantes se observa que en las arcilitas rojas las concentraciones de Cr varían entre 210 y 90 ppm, para las lutitas negras este elemento varía entre 180 y 120 ppm, para el grupo de las margas las concentraciones son más bajas variando entre valores de 80 y 40 ppm. Para el elemento Cu se observa que en las arcilitas rojas los valores van de 14 ppm a 94 ppm, en las lutitas negras la variación es mayor ya que se obtuvieron valores máximos de 137 ppm y valores mínimos de 4 ppm, lo mismo ocurre para el grupo de las margas donde se obtuvieron valores de 224 ppm a 14 ppm. Para el elemento Ba en las arcilitas rojas los valores máximos llegan a 2100 ppm y los mínimos a 604 ppm, en las lutitas negras los valores son semejantes entre sí, variando de 879 ppm a 550 ppm, por ultimo en las margas los valores son altos llegando a los 5590 ppm con un valor mínimo de 316 ppm. El V en las arcilitas rojas varía entre 38ppm a 242 ppm, en las lutitas negras los valores mínimos son de 131ppm a 244 ppm, en el grupo de las margas estas concentraciones bajan significativamente llegando a valores máximos de 31 ppm. El Th tiene concentraciones similares para el grupo de las arcilitas rojas como para las lutitas negras variando entre concentraciones mínimas de 7 ppm y máximas de 26 ppm (Tabla VI.4.a).

Los resultados de las concentraciones de los elementos traza más relevantes (Tabla VI.4.b), se observan en que para el elemento La en el grupo de las arcillitas rojas los valores varían entre 10 ppm y 57 ppm, en las lutitas negras los valores de concentraciones van de 20 ppm a 64 ppm, disminuyendo en las margas con mínimos de 10 ppm y máximos de 40 ppm. El Ce en las arcilitas rojas varía entre 49 ppm y 119 ppm, en las lutitas negras se observan mínimos de 59 ppm y máximos de 123 ppm, para las margas las concentraciones varían 9,6 ppm y 79 ppm. Para el Nd en las arcilitas rojas las concentraciones mínimas son de 7,5 y máximas de 21,9 ppm , en las lutitas negras los mínimos son de 16 ppm y los máximos de 50 ppm, por ultimo para las margas los valores varían entre 0,9 y 12 ppm. Todos estos resultados y los que no han sido mencionados se pueden observar en las tablas siguientes (Tablas VI.4.a y VI.4.b).

Localidad	Muestra	Litología	Cr ppm	V ppm	Sc ppm	Ni ppm	Co ppm	Cu ppm	Cs ppm	Ti ppm	Tl ppm	Ba ppm	Pb ppm	Sr ppm	Th ppm	U ppm	Zr ppm	Hf ppm	Nb ppm	Sn ppm
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 37m	Arcilla roja	200	178	15	31	13	42	8,38	4400	<0.5	604	21	56,8	16,1	3,13	187	5	14,3	4
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 50m	Arcilla roja	210	151	18	48	21	49	11,05	4300	<0.5	757	14	39,5	15,55	2,27	132	3,7	15	5
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 58m	Arcilla roja	140	121	15	57	24	94	8,83	3600	<0.5	1290	22	115,5	13,65	1,99	116	3,4	12	3
Yacimiento Alicia	TCA3 - 53 m	Arcilla roja	120	121	16	12	4	30	11,95	5800	<0.5	894	9	64,5	22,1	2,75	213	5,9	21,9	6
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 35 m	Arcilla Roja	140	242	23	46	13	64	19,3	5300	1,6	760	37	48	22,8	5,67	172	4,9	40,2	6
Yacimiento El Polvorin	Ht 9 - 9m	Arcilla roja	90	38	8	16	9	14	9,91	2100	<0.5	2100	11	354	6,74	0,81	60	1,7	7,5	2
Yacimiento Alicia	TA 22 - 43m	Lutita	110	144	17	60	23,7	77	9,48	4300	<0.5	550	12	63,5	10,8	2,5	117	3,3	13,8	5
Yacimiento Alicia	TA 22 - 57m	Lutita	160	172	NSS	67	29,7	63	13,3	0	<0.5	848	44	63,6	21	4,13	156	4,8	19,8	6
Yacimiento Alicia	TA 22 - 63,50m	Lutita	130	132	18	73	27,5	71	14,9	4800	<0.5	614	9	57,3	13,95	2,83	152	4,3	15,4	5
Yacimiento Alicia	TA 22 - 85m	Lutita	150	172	20	80	20,2	72	14	4700	<0.5	687	9	62	18,3	3,46	138	4,1	16,2	5
Yacimiento Alicia	TA 22 - 100m	Lutita	150	170	20	74	24,5	99	16,25	4800	<0.5	772	8	63,7	18,6	2,99	129	3,8	16	6
Yacimiento Alicia	TA 22 - 116m	Lutita	140	148	21	57	22,5	73	11,85	5400	<0.5	666	18	76	20,3	4,21	181	5,3	18,1	6
Yacimiento Alicia	TA 22 - 140m	Lutita	180	194	24	74	41,4	69	16,85	6000	<0.5	787	37	78,4	26,6	5,08	178	5,1	21,1	7
Yacimiento Alicia	TA 22 - 162m	Lutita	140	143	19	86	26,1	137	15,75	4200	<0.5	645	23	59,9	15,2	2,38	113	3,2	13,7	5
Yacimiento Alicia	TA 22 - 169m	Lutita	170	190	21	75	32,1	34	20,3	5600	<0.5	669	13	70,2	23,9	3,93	156	4,4	18,5	6
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 39 m	Lutita	140	244	21	43	21	70	19,35	5300	1,6	750	2	44,8	22,6	5,84	179	5,3	18,4	6
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 44 m	Lutita	140	237	20	44	21	44	17,1	5500	1,4	610	19	58,5	22,1	3,88	171	5,1	52,4	6
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 35 m	Lutita	140	242	22	47	24	28	18,5	5400	1,5	680	14	56,2	22,1	4,35	172	5	61,7	6
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 39 m	Lutita	130	211	21	42	15	31	17,15	5200	1,4	650	17	54,4	19,6	4,24	174	5,1	37,5	5
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 44 m	Lutita	120	207	19	53	23	17	16,7	4300	1,4	610	5	46,8	18,2	3,19	139	4,1	53,2	5
Yacimiento La cabañita	TDH11 - 38 m	Lutita	120	213	18	40	25	42	13,15	5100	1,2	600	18	67,6	17,25	3,78	171	5	55,8	5
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 35 m	Lutita	140	232	22	43	15	11	17,85	5300	1,5	730	9	48	20	4,03	165	5	29,4	6
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 39 m	Lutita	130	222	20	47	22	4	18,8	4800	1,5	700	6	49,1	20,3	3,57	150	4,4	24,6	5
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 44 m	Lutita	140	245	21	47	28	43	17,9	5500	1,4	650	52	61,5	22,5	3,69	167	5	41,2	6
Yacimiento Alicia	TCA3 - 87 m	Lutita	160	131	18	14	3	82	15,7	5600	<0.5	879	17	77,9	23,2	2,87	199	5,6	20,2	15
Yacimiento Alicia	TA 22 - 170m	Marga	60	28	2	27	4,2	16	1,18	500	<0.5	4110	5	369	1,19	0,34	15	0,3	1,4	1
Yacimiento Alicia	TA 22 - 171m	Marga	80	31	5	39	7,6	26	4,03	1200	<0.5	1785	8	447	3,71	0,5	35	1	4,4	4
Yacimiento Alicia	TA 25 - 69 m	Marga	40	16	3	5	2	14	0,47	300	<0.5	316	5	391	1,16	0,29	10	0,2	0,9	2
Yacimiento Alicia	TCA2 - 97 m	Marga	70	29	2	11	5	224	1,24	600	<0.5	5590	12	521	1,47	0,36	18	0,4	1,7	5

Tabla VI.4.a: Resultados de los análisis de los elementos minoritarios obtenidos en ALS Laboratory Group.

Localidad	Muestra	Litología	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	Y ppm
Yacimiento Alicia	TCA3 - 97 m	Marga	10	13,5	1,81	1,7	2,05	0,5	2,52	0,33	2,15	0,35	1,11	0,14	0,82	0,11	13,7
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 37m	Arcilla Roja	40	90	10,85	14,3	8,14	1,46	7,16	1,14	7,2	1,36	4,33	0,68	4,11	0,60	42,2
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 50m	Arcilla Roja	30	83,3	9,93	15	7,23	1,32	6,33	1,02	6,15	1,15	3,68	0,56	3,59	0,51	36,1
Yacimiento Alicia	TCA3 - 53 m	Arcilla Roja	50	119	14,25	21,9	8,93	1,47	6,98	1,07	7,28	1,4	4,5	0,71	4,33	0,64	41,5
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 35 m	Arcilla Roja	56,8	104	11,4	19,6	6,76	1,11	5,98	1,07	7,16	1,56	4,73	0,75	4,88	0,77	44,8
Yacimiento El Polvorin	Ht 9 - 9m	Arcilla Roja	30	49,1	6,06	7,5	4	0,83	3,43	0,52	3,16	0,53	1,7	0,25	1,63	0,25	17,3
Yacimiento Alicia	TA 22 - 43m	Lutita	30	74,8	9,07	33,9	6,61	1,29	5,55	0,87	5,59	1,07	3,31	0,51	3,02	0,47	29,7
Yacimiento Alicia	TA 22 - 57m	Lutita	NSS	63,5	7,45	28,3	6,08	1,09	5,26	0,85	5,83	1,27	3,94	0,73	4,49	0,66	35,7
Yacimiento Alicia	TA 22 - 63,50m	Lutita	30	85,4	10,75	42,4	8,96	2,01	9,99	1,71	10,4	1,89	5,55	0,87	4,71	0,65	56,6
Yacimiento Alicia	TA 22 - 85m	Lutita	20	84,6	9,89	34,9	6,27	1,14	5,41	0,95	6,34	1,29	4,1	0,66	4,06	0,60	36,4
Yacimiento Alicia	TA 22 - 100m	Lutita	20	105,5	13,15	50,3	9,95	1,63	7,73	1,19	7,26	1,31	4,16	0,68	4,09	0,57	42
Yacimiento Alicia	TA 22 - 116m	Lutita	30	90,3	10,70	38,6	7,46	1,36	6,48	1,1	7,26	1,42	4,52	0,76	4,56	0,68	41,7
Yacimiento Alicia	TA 22 - 140m	Lutita	20	108,5	12,05	41,2	6,95	1,18	5,88	1,07	7,26	1,52	4,89	0,82	5,13	0,76	44,4
Yacimiento Alicia	TA 22 - 162m	Lutita	30	101,5	12,40	46,5	8,63	1,65	7,33	1,15	6,7	1,3	3,96	0,63	3,87	0,56	37,9
Yacimiento Alicia	TA 22 - 169m	Lutita	20	84	9,69	35,4	7,14	1,38	7,35	1,33	9	1,81	6,08	0,94	5,67	0,85	50,3
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 39 m	Lutita	40,9	59,6	5,65	19,9	3,45	0,72	4,74	0,96	7,06	1,54	4,86	0,76	5,02	0,78	43,9
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 44 m	Lutita	63,8	122,5	14,25	19,8	9,28	1,38	7,36	1,2	7,77	1,64	5	0,76	4,97	0,78	45,6
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 35 m	Lutita	63,2	132	16	19,6	11,25	1,63	7,93	1,18	7,16	1,5	4,45	0,69	4,58	0,72	43,8
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 39 m	Lutita	49,7	92,3	10,45	18,9	6,77	1,21	6,18	1,06	6,85	1,47	4,5	0,7	4,62	0,72	41,5
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 44 m	Lutita	60,6	116,5	13,75	15,3	11,5	2,14	10,5	1,59	9,33	1,84	5,26	0,78	4,95	0,75	50,3
Yacimiento La cabañita	TDH11 - 38 m	Lutita	61,7	128	15	17,9	10,4	1,7	8,56	1,32	7,93	1,62	4,76	0,72	4,6	0,72	45,4
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 35 m	Lutita	38,4	66,9	7,58	19	6,2	1,07	5,73	1,01	6,83	1,47	4,61	0,72	4,71	0,75	41,4
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 39 m	Lutita	41	65,9	6,68	16,2	6,03	1,34	8,53	1,58	10,55	2,22	6,64	0,95	6,07	0,92	62,2
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 44 m	Lutita	55,6	102,5	11,45	19,7	7,17	1,14	6,23	1,1	7,41	1,59	4,87	0,75	4,95	0,78	44,6
Yacimiento Alicia	TCA3 - 87 m	Lutita	40	123	13,95	20,2	9,26	1,83	7,87	1,29	8,16	1,57	4,99	0,79	4,78	0,68	44,7
Yacimiento Alicia	TA 22 - 170m	Marga	10	15,2	1,90	7,5	1,56	0,31	1,56	0,25	1,41	0,27	0,88	0,11	0,6	0,08	10,3
Yacimiento Alicia	TA 22 - 171m	Marga	20	25,6	3,11	11,2	2,16	0,43	1,86	0,27	1,58	0,29	0,86	0,15	0,85	0,13	9,7
Yacimiento Alicia	TA 25 - 69 m	Marga	10	9,6	2,20	0,9	2,22	0,46	2,14	0,32	2,08	0,38	1,12	0,19	1,04	0,15	15,8
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 58m	Marga	40	79,4	9,13	12	7,8	1,5	7,5	1,18	6,96	1,31	3,92	0,61	3,6	0,52	39,2

Tabla VI.4.b: Resultados de los análisis de los elementos Tierras raras obtenidos en ALS Laboratory Group.

VI.5. Clasificación geoquímica de las muestras analizadas.

La clasificación modificada del diagrama de Pettijohn *et al.* (1972), modificada por Herron, (1988) usa el logaritmo de la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ en el eje de las Y versus el $\text{Log SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en el eje de las X. En este diagrama se volcaron las 25 muestras silicoclásticas (Figura VI.5.1) y se observó que el 100 % de las lutitas negras caen en el campo de las lutitas. Con respecto a las arcilitas rojas, 4 de las muestras se ubican en el campo de los vaques, muy próximas al campo de las lutitas y 2 de las muestras en el campo de las lutitas. El contenido relativo de Fe_2O_3 y K_2O es variable, mientras que el de SiO_2 y Al_2O_3 es más uniforme.

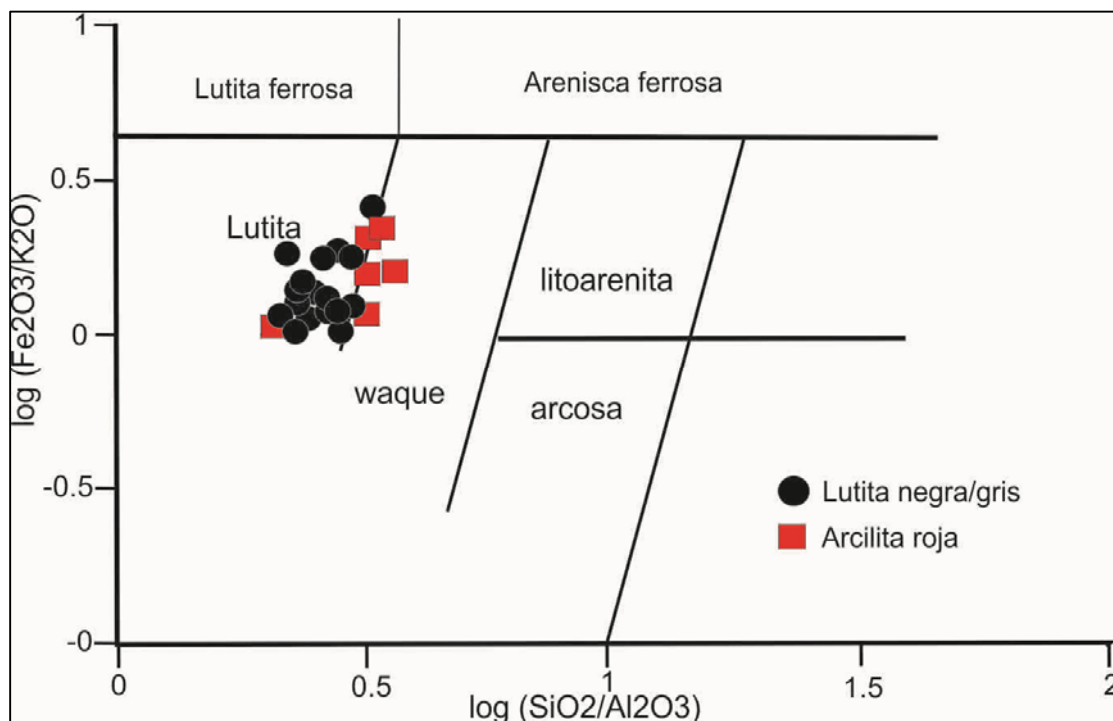


Figura VI.5.1: Clasificación geoquímica de las muestras 25 muestras silicoclásticas analizadas, en el diagrama $\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ Vs $\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$, Herron, (1988).

La abundancia en los elementos mayoritarios podría reflejar la composición de las rocas en los casos en los que no haya sido modificada por procesos de meteorización y diagenésis (Boles y Franks, 1979; Nesbitt *et al.*, 1996; McLennan, 2001). Existen dos relaciones muy usadas para medir el grado de meteorización química de los minerales primarios y secundarios, una de ellas es calculando el índice de alteración química conocido como CIA = $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100$, (Nesbitt y Young, 1982) y la otra obteniendo los ratios de K/Cs (McLennan *et al.*, 1993).

Se asume que para el CIA las rocas de la corteza superior inalteradas poseen un valor de 50 %, mientras que, un valor de 100 % representa suelos residuales. Valores de CIA para lutitas de diferentes partes del mundo se encuentran entre 70 y 75 % (Visser y Young, 1990).

Para las muestras estudiadas, mayormente lutitas negras a grises, los valores de CIA se encuentran entre 71 y 77 % significando que estuvieron expuestas a una meteorización moderada (Tabla IV.5.d). Se observan dos muestras de arcillas rojas donde los valores son de 50% y 20%, que indicarían muestras inalteradas, pero teniendo en cuenta, que para estas muestras los valores de CaO son relativamente altos, mayores a 28 %, deben excluirse de las interpretaciones, al igual que a las 4 muestras de margas.

En la [Tabla VI.5.d](#) se presentan los resultados de las diferentes relaciones que fueron volcados en los gráficos de las figuras que serán mencionadas en los párrafos siguientes.

En la [Figura VI.5.2 a y b](#), se muestran las relaciones molares entre $Al-Ca + Na-K$ que determinan “marchas” de meteorización. Las muestras, mayormente las lutitas negras, tienden a alinearse con la trayectoria definida para la meteorización avanzada. Por su parte, los contenidos de $CaO + Na_2O$ y K_2O se encuentran siempre por encima de los promedios para rocas volcánicas, a la vez que los contenidos de Al_2O_3 están próximos o ligeramente por debajo de los promedios de illita y de esmectita. En la [Figura VI.5.2 b](#) se observa que la composición de las muestras analizadas se encuentra entre los valores de UUC o UCC (Corteza continental superior) y PAAS (Post- Archean Australian Shale), entendiéndose por ello que no han sido expuestas a diferentes ciclos de meteorización ni han tenido influencias de otros detritos. Hay que tener presente que las muestras con altos valores de $CaCO_3$ (facies de margas) no reflejan la alteración meteórica de los componentes clásticos, por lo cual no han sido incluidas en los gráficos antes mencionados.

Localidad	Muestra	Litología	CIA	K/Cs	Th/Sc	Zr/Sc	Zr/Ti	Ti/Zr	La/Sc	Nb/Y
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 37m	Arcilla Roja	71,139	3663,00	1,07	12	0,042	23	2,66	0,124
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 50m	Arcilla Roja	75,862	3312,00	0,86	7	0,03	32	1,66	0,339
Yacimiento Alicia	ARA 33 - 58m	Arcilla Roja	51,822	3412,00	0,91	7	0,032	31	2,66	0,416
Yacimiento Alicia	TCA3 - 52 m	Arcilla Roja	75,676	3481,00	1,38	13	0,036	27	3,125	0,528
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 35 m	Arcilla Roja	76,277	2663,21	0,99	7	0,032	30	2,46	0,438
Yacimiento El Polvorin	Ht 9 - 9m	Arcilla Roja	20,242	2159,00	0,842	7	0,028	35	3,78	0,434
Yacimiento Alicia	TA 22 - 43 m	Lutita	76,717	2869,20	0,63	6	0,027	36	1,76	1,141
Yacimiento Alicia	TA 22 - 57m	Lutita	76,268	3308,27	0	0	0	0	0	0,793
Yacimiento Alicia	TA 22 - 63,50m	Lutita	71,488	2281,88	0,77	8	0,031	31	1,66	0,749
Yacimiento Alicia	TA 22 - 85m	Lutita	76,523	2971,43	0,91	6	0,029	34	1	0,959
Yacimiento Alicia	TA 22 - 100m	Lutita	76,230	2560,00	1,01	6	0,026	37	1	1,198
Yacimiento Alicia	TA 22 - 116m	Lutita	75,838	3257,38	0,96	8	0,033	29	1,42	0,926
Yacimiento Alicia	TA 22 - 140m	Lutita	76,158	2813,06	1,11	7	0,029	33	0,84	0,928
Yacimiento Alicia	TA 22 - 161m	Lutita	75,430	2742,86	0,8	5	0,027	37	1,57	1,227
Yacimiento Alicia	TA 22 - 169m	Lutita	76,233	2364,53	1,13	7	0,027	35	0,95	0,704
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 39 m	Lutita	75,829	2651,16	1,07	8	0,033	29	1,95	0,453
Yacimiento La cabañita	TDH30 - 44 m	Lutita	76,475	2690,06	1,1	8	0,031	32	3,19	0,434
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 35 m	Lutita	76,739	2627,03	1	7	0,031	31	2,87	0,447
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 39 m	Lutita	75,930	2606,41	0,93	8	0,033	29	2,36	0,455
Yacimiento La cabañita	TDH31 - 44 m	Lutita	77,040	2688,62	0,957	7	0,032	30	3,2	0,304
Yacimiento La cabañita	TDH11 - 38 m	Lutita	74,690	2821,29	0,96	9	0,033	29	3,42	0,394
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 35 m	Lutita	75,722	2817,93	0,9	7	0,031	32	1,74	0,459
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 39 m	Lutita	76,138	2558,51	1	7	0,031	32	2	0,260
Yacimiento La cabañita	TDH04 - 44 m	Lutita	75,914	2798,88	1,07	7	0,03	32	2,64	0,442
Yacimiento Alicia	TCA3 - 87 m	Lutita	76,630	2624,00	1,28	11	0,035	28	2,22	
Yacimiento Alicia	TCA2 - 97 m	Marga	3,664	3064,00	0,59	7	0,03	33	5,00	0,728
Yacimiento Alicia	TA 22 - 170m	Marga	3,489	3898,31	0,74	7	0,029	34	4	1,155
Yacimiento Alicia	TA 22 - 171m	Marga	10,232	2729,53	0,38	3	0,03	30	3,3	0,057
Yacimiento Alicia	TA 25 - 59 m	Marga	1,743	4042,00	0,73	9	0,03	33	5	0,306

Tabla VI.5.d: resultados de los indicadores para realizar interpretaciones sobre el grado de meteorización y diagénesis para las muestras analizadas.

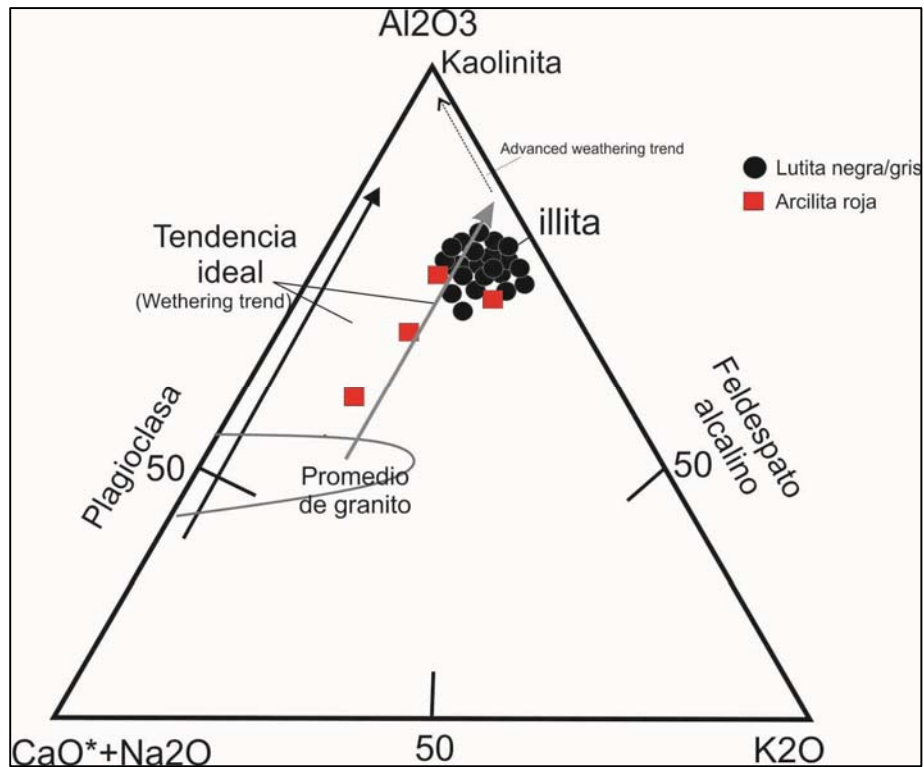


Figura VI.5.2 a: Distribución de las 29 muestras analizadas, para un diagrama trivalente $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3$ que representa a los valores del índice de alteración Química (CIA) (Fedo *et al.*, 1995).

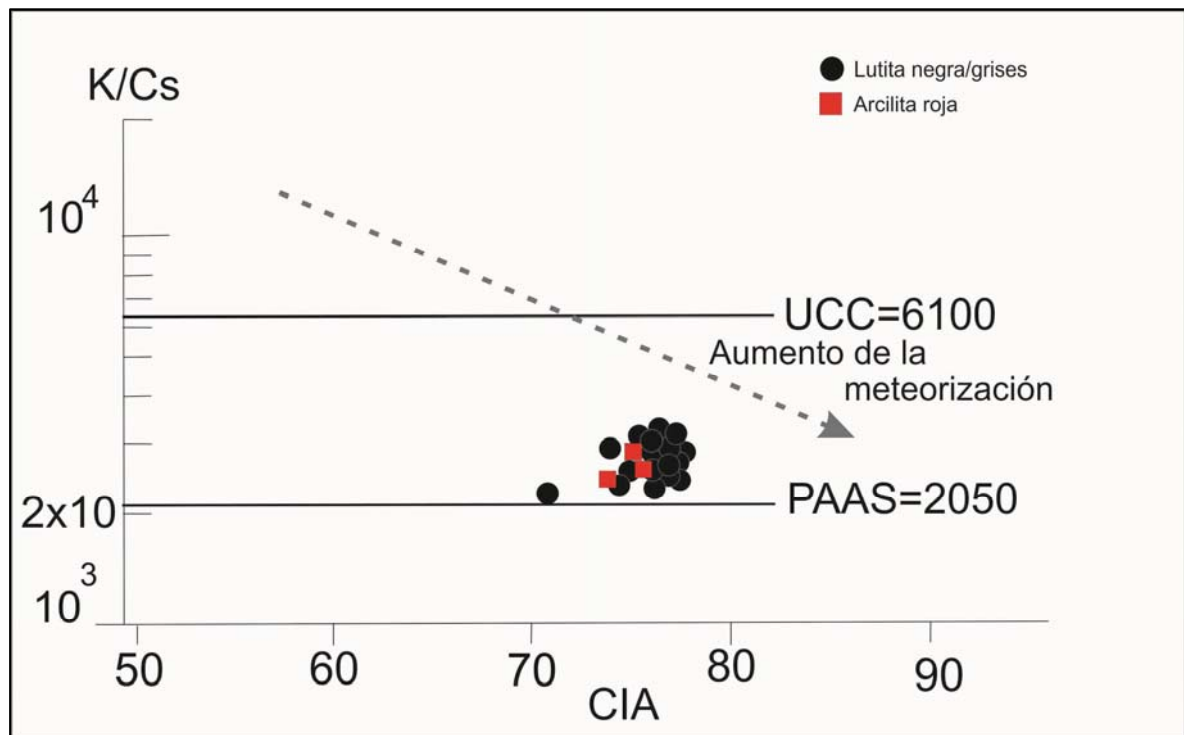


Figura VI.5.2 b: K/CS Versus CIA cuantificación de la meteorización química (McLennan *et al.*, 1993).
Ref: UCC (upper Continental Crust), PASS (post-Archean average Australian Shale).

El diagrama Th/Sc vs. Zr/Sc (McLennan *et al.*, 1993) se ha empleado para evaluar el nivel de reciclado en los sedimentos. En él, la relación lineal definida, tiende a mostrar una tendencia a la diferenciación ígnea y cuanto mayor sea el contenido en Zr mayor será la madurez de la roca (McLennan *et al.*, 1990, 1993) (Fig.VI.5.3). Las muestras manifiestan una composición similar a UUC, ya que la mayoría de los valores oscilan entre $Zr/Sc < 10$ y $Th/Sc < 8$, indicando un leve fraccionamiento.

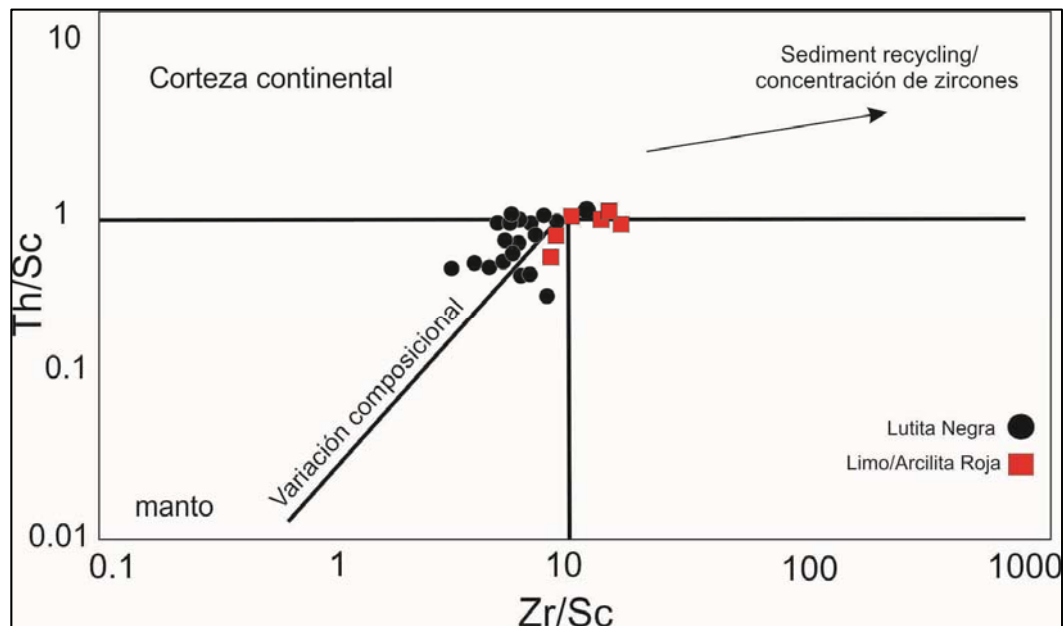


Figura VI.5.3: Diagramas bivariados Th/Sc vs. Zr/Sc (McLennan *et al.*, 1990, 1993). Se aprecia que las muestras de lutitas negras poseen un bajo nivel de reciclado, en cambio las arcillitas rojas muestran mayor madurez dado el más elevado contenido de Zr.

VI.6. Análisis de procedencia

Esta técnica utiliza las variaciones en elementos traza y tierras raras (REE) para otorgar una idea del ambiente tectónico al cual han sido expuestos los sedimentos. Los elementos mayoritarios, como ya se ha dicho anteriormente en este capítulo, han perdido utilidad a la hora de interpretar procedencia, por su gran movilidad durante los procesos sin y postdeposicionales. De igual modo, su uso puede otorgar una aproximación de cuál habría sido el ambiente tectónico al que habían sido expuestas. Para ello debe considerarse que el Na y K se encuentran entre los elementos mayoritarios más móviles, y el uso de Na_2O y K_2O para discriminar ajustes tectónicos deben ser tomados con precaución. Otro proceso a tener en cuenta es que el Fe_2O_3 se enriquece durante los procesos de sedimentación y diagénesis tempranas, especialmente en rocas de grano fino (Spalletti *et al.*, 2008).

En la **Figura VI.6.1 a y b** se presentan dos gráficos donde se indican las relaciones más importantes entre elementos mayoritarios para las muestras analizadas.

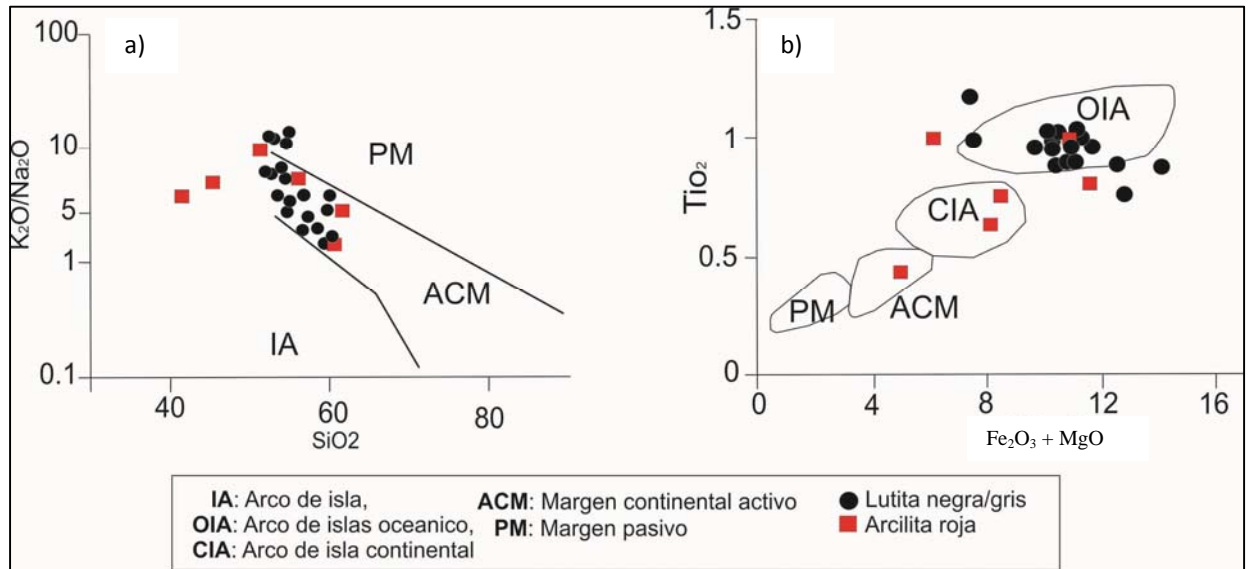


Figura VI.6.1: Diferenciación de áreas tectónicas de procedencia sobre la base de los elementos mayoritarios más abundantes: (a) K_2O/Na_2O vs SiO_2 (Roser y Korsch, 1986); (b) de TiO_2 vs $Fe_2O_3 + MgO$ (Bhatia, 1983).

Como se observa en las **Figuras VI.6.1 a y b**, las muestras pertenecientes a las facies de lutitas negras tienen una afinidad a un margen continental activo, con algunas excepciones de muestras que se ubican en el campo de margen pasivo cuando se comparan K_2O/Na_2O con SiO_2 y a un Arco de islas oceánico cuando se compara el TiO_2 con $Fe_2O_3 + MgO$. La distribución de las muestras de arcilitas rojas, no están representadas por un ambiente específico, sino que abarcan diferentes campos tales como arco de islas y margen continental activo (**Figuras VI.6. a y b**).

Asimismo, otro de los usos de los elementos mayoritarios resulta de la interpretación gráfica comparando FeO/MgO con el SiO_2 para diferenciar afinidades de las sedimentitas con suites magmáticas (Miyashiro, 1974). La **Figura IV.6.2**, muestra que el 100% de las rocas analizadas se ubican en el campo Tholeitico, de modo tal que esto siguiere magmas pobres en álcalis ($Na_2O + K_2O$) generados en dorsales oceánicas a pocas profundidades (MacDonald, G.A., y Katsura, T. 1964).

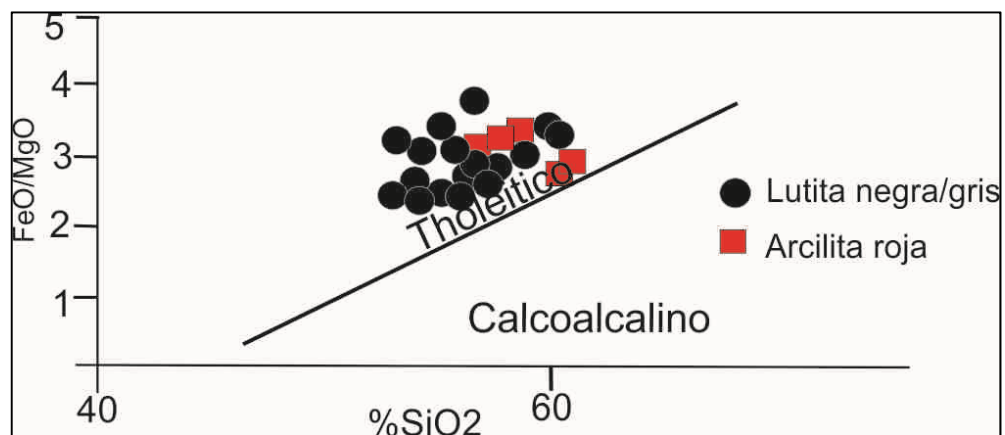


Figura VI.6.2: Diferenciación magmática para suíte toleítica o suíte calcoalcalina
Con los parámetros FeO/MgO vs SiO₂ (Miyashiro, 1974).

Elementos trazas y REE

Una estimación de la composición de la roca fuente de las sedimentitas se puede obtener utilizando los parámetros Zr/Ti y Nb/Y (Winchester y Floyd, 1977). Cabe destacar que estos elementos resultan mucho más confiables debido a su muy baja movilidad, es por ello que se mantienen inalterados durante los procesos postdeposicionales (Winchester y Floyd 1977; Fralick 2003; Lacassie *et al.*, 2006; Van Staden *et al.*, 2006; Zimmermann *et al.*, 2011). La Figura VI.6.3 indica, que tanto para las lutitas negras como para las arcilitas rojas el tren composicional tiende a ser andesítico/basáltico.

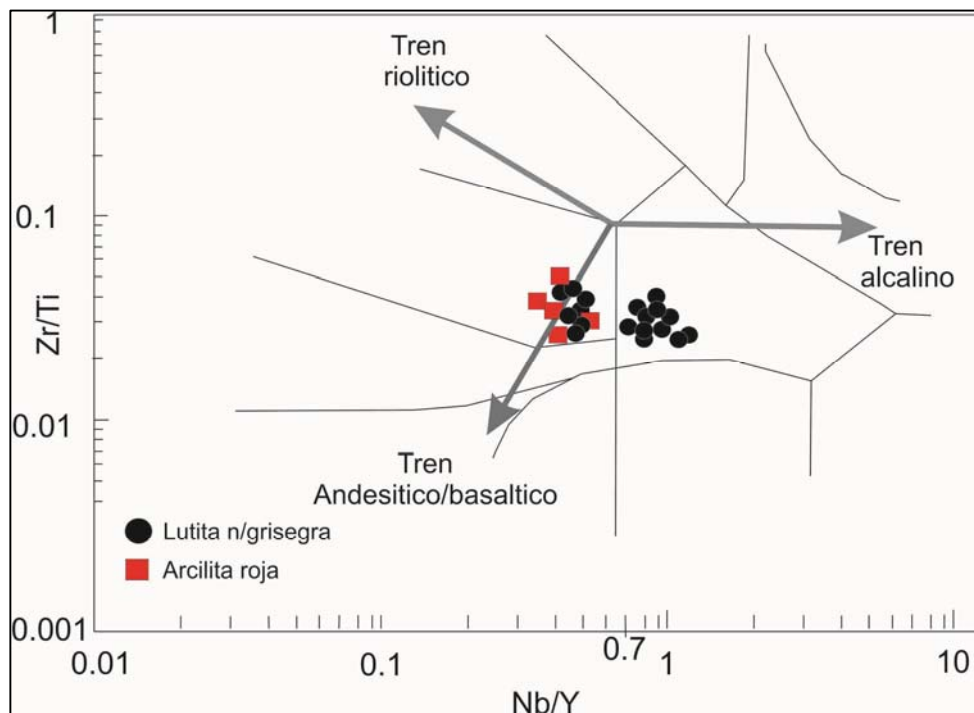


Figura VI.6.3: diferenciación composicional magmática de las lutitas negras/grises y arcilitas rojas (Winchester y Floyd, 1977).

Otra forma de señalar el ambiente tectónico es a partir del uso de un diagrama que compara Ti/Zr con La/Sc (Bathia y Crook, 1986). Para las muestras analizadas se observan altos valores de Ti/Zr y bajos de La/Sc, y a su vez se ubican en la zona de arco de islas continental. Algunas muestras están por fuera de este campo (Figura VI.6.4), sugiriendo un ambiente de mezcla entre arcos de origen continental como oceánicos. Un punto importante a remarcar es que ninguna de las muestras cae en el campo de Margen pasivo.

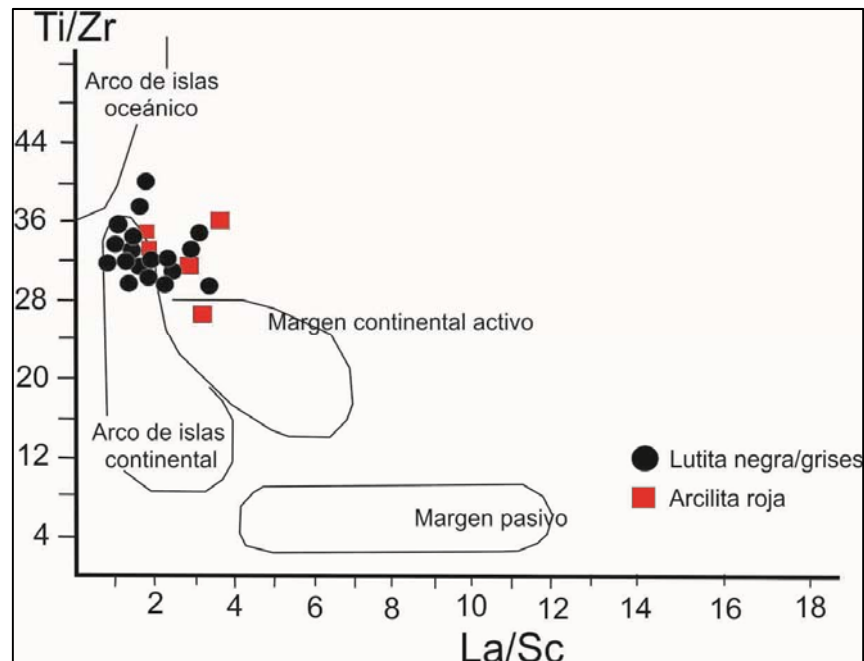


Figura VI.6.4: Determinación de ambiente tectónico por la relación Ti/Zr vs. La/Sc. (Bathia y Crook, 1986)

Existen otros parámetros importantes que se discriminan a partir de diagramas triangulares utilizando tres variables como La, Th, Sc y Th, Sc y Zr/10 (Bathia y Crook 1986). En éstos se observa que la mayoría de las muestras se ubican en el campo de arco de islas continental (Figura VI.5.8 a). En la Figura VI.5.8 b, la mayor cantidad de muestras se agrupan en el campo de arco continental marginal. El hecho de que los campos sean arcos de islas o continentales, está señalando que la composición no se aparta de la de corteza continental superior (UCC).

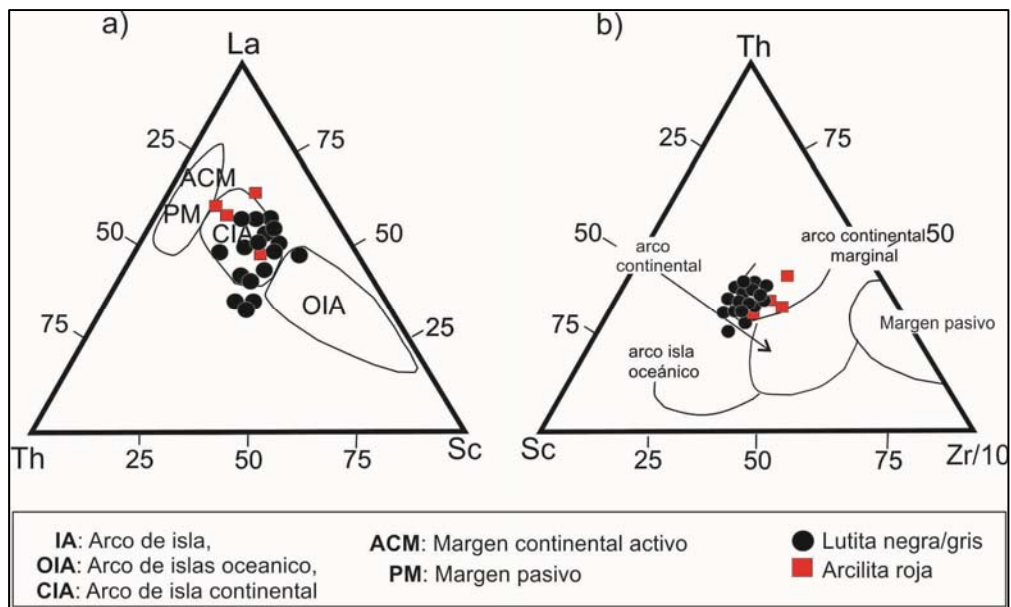


Figura VI.6.5: Gráficos trivalentes que indican procedencia tectónica
a) La- Th-Sc y Th –Sc-Zr/10 (Bathia y Crook 1986).

Tierras Raras (REE)

Por lo general todas las lutitas y arcilitas están enriquecidas en REE, en comparación con las areniscas ricas en cuarzo. Esto se asume comparando las rocas con una roca patrón obtenida de una lutita australiana denominada PAAS (Lutitas Post-Archeano de Australia, Taylor y McLennan 1985) que a su vez muestra una composición UCC patrón.

Los contenidos totales de tierras raras en las pelitas negras varían entre 169 y 335 ppm, en las arcilitas rojas entre 130 y 300 ppm, y son claramente más bajos en las margas que varían entre 44 y 106 ppm, Tabla VI.6. Estos valores son similares a los reportados a nivel global para lutitas de sucesiones similares y de la misma edad.

Los patrones de REE de las muestras analizadas, muestran en general una distribución típica de las rocas sedimentarias y se pueden describir de la siguiente manera: las margas tienen un patrón similar al del PAAS pero están empobrecidas en REE, las lutitas negras/grises tienen un patrón similar al PAAS y se encuentran algo enriquecidas en REE y finalmente las Arcilitas rojas son las que más se aproximan al patrón (PAAS). Esta distribución se muestra en la Figura VI.6.6.

Muestra		La*	Ce*	Pr*	Nd*	Sm*	Eu*	Gd*	Tb*	Dy*	Ho*	Er*	Tm*	Yb*	Lu*	Y*	Sum REE
Litología	DESCRIPCION																
	PAAS	38,2	79,6	8,83	33,9	5,55	1,08	4,66	0,774	4,68	0,991	2,85	0,41	2,82	0,433	27	385
Arcilla Roja	ARA 33 37	1,16	1,13	1,23	1,22	1,47	1,35	1,54	1,47	1,54	1,37	1,52	1,68	1,46	1,39	1,56	241
Arcilla Roja	ARA 33 50	1,09	1,05	1,12	1,08	1,30	1,22	1,36	1,32	1,31	1,16	1,29	1,38	2,34	1,18	1,34	223
Arcilla Roja	TCA3 53	1,62	1,49	1,61	1,54	1,61	1,36	1,50	1,38	1,56	1,41	1,58	1,75	1,54	1,48	1,54	305
Arcilla Roja	TDH 30 - 35 m	1,49	1,307	1,29	0,58	1,22	1,03	1,28	1,38	1,53	1,57	1,66	1,85	1,68	1,78	1,66	244
Arcilla Roja	Ht 9	0,72	0,62	0,69	0,67	0,72	0,77	0,74	0,67	0,68	0,53	0,60	0,62	0,58	0,58	0,64	130
Lutita	Ta 22 - 42,75	0,95	0,94	1,03	1,00	1,19	1,19	1,19	1,12	1,19	1,08	1,16	1,26	1,07	1,09	1,10	197
Lutita	Ta 22 - 57	0,92	0,80	0,84	0,83	1,10	1,01	1,13	1,10	1,25	1,28	1,38	1,80	1,59	1,52	1,32	180
Lutita	Ta 22 - 63,50	1,02	1,07	1,22	1,25	1,61	1,86	2,14	2,21	2,22	1,91	1,95	2,15	1,67	1,50	2,10	246
Lutita	Ta 22 - 85	1,26	1,06	1,12	1,03	1,13	1,06	1,16	1,23	1,35	1,30	1,44	1,63	1,44	1,39	1,35	225
Lutita	Ta 22 - 100	1,41	1,33	1,49	1,48	1,79	1,51	1,66	1,54	0,91	1,32	1,46	1,68	1,45	1,32	1,56	277
Lutita	Ta 22 - 116	1,31	1,13	1,21	1,14	1,34	1,26	1,39	1,42	1,55	1,43	1,59	1,88	1,62	1,57	1,54	244
Lutita	Ta 22 - 140	1,66	1,36	1,36	1,22	1,25	1,09	1,26	1,38	1,55	1,53	1,72	2,02	1,82	1,76	1,64	280
Lutita	Ta 22 - 162	1,30	1,28	1,40	1,37	1,55	1,53	1,57	1,49	1,43	1,31	1,39	1,56	1,37	1,29	1,40	264
Lutita	Ta 22 - 169	1,21	1,06	1,10	1,04	1,29	1,28	1,58	1,72	1,92	1,83	2,13	2,32	2,01	1,96	1,86	237
Lutita	TDH 30 - 39 m	1,07	0,75	0,64	0,54	0,62	0,67	1,02	1,24	1,51	1,55	1,71	1,88	1,72	1,80	1,63	169
Lutita	TDH 30 - 44 m	1,67	1,54	1,61	1,55	1,67	1,28	1,58	1,55	1,66	1,65	1,75	1,88	1,77	1,80	1,69	314
Lutita	TDH 31 - 35 m	1,65	1,66	1,81	1,82	2,03	1,51	1,70	1,52	1,53	1,51	1,56	1,70	1,58	1,66	1,62	335
Lutita	TDH 31 - 39 m	1,30	1,16	1,18	1,11	1,22	1,12	1,33	1,37	1,46	1,48	1,58	1,73	1,60	1,66	1,54	242
Lutita	TDH 31 - 44 m	1,59	1,46	1,56	1,57	2,07	1,98	2,25	2,05	1,99	1,86	1,85	1,93	1,87	1,73	1,86	317
Lutita	TDH 11 - 38 m	1,62	1,61	1,70	1,65	1,87	1,57	1,84	1,71	1,69	1,63	1,67	1,78	1,69	1,66	1,68	325
Lutita	TDH 04 - 35 m	1,01	0,84	0,86	0,87	1,12	0,99	1,23	1,30	1,46	1,48	1,62	1,78	1,63	1,73	1,53	191
Lutita	TDH 04 - 39 m	1,07	0,83	0,76	0,73	1,09	1,24	1,83	2,04	2,25	2,24	2,33	2,35	2,35	2,12	2,30	205
Lutita	TDH 04 - 44 m	1,46	1,29	1,30	1,22	1,29	1,06	1,34	1,42	1,58	1,60	1,71	1,85	1,73	1,80	1,65	265
Lutita	TCA3 - 87	1,64	1,55	1,58	1,53	1,67	1,69	1,69	1,67	1,74	1,58	1,75	1,95	1,70	1,57	1,66	314
Marga	Ta 22 - 170	0,20	0,19	0,22	0,22	0,28	0,29	0,33	0,32	0,30	0,27	0,31	0,27	0,21	0,18	0,38	43
Marga	Ta 22 - 171	0,35	0,32	0,35	0,33	0,39	0,40	0,40	0,35	0,34	0,29	0,30	0,37	0,30	0,30	0,36	66
Marga	Ta 25 69	0,24	0,12	0,25	0,27	0,40	0,83	0,46	0,41	0,44	0,38	0,39	0,47	0,37	0,35	0,59	46
Marga	ARA 33 58	1,06	1,00	1,03	1,04	1,41	1,39	1,61	1,52	1,49	1,32	1,38	1,51	1,28	1,20	1,45	216
Marga	TCA3 97	0,18	0,17	0,20	0,23	0,37	0,46	0,54	0,43	0,46	0,35	0,39	0,35	0,29	0,25	0,51	44

Tabla VI.6: resultados de la composición en REE de las muestras normalizadas UCC, Taylor and McLennan 1985.

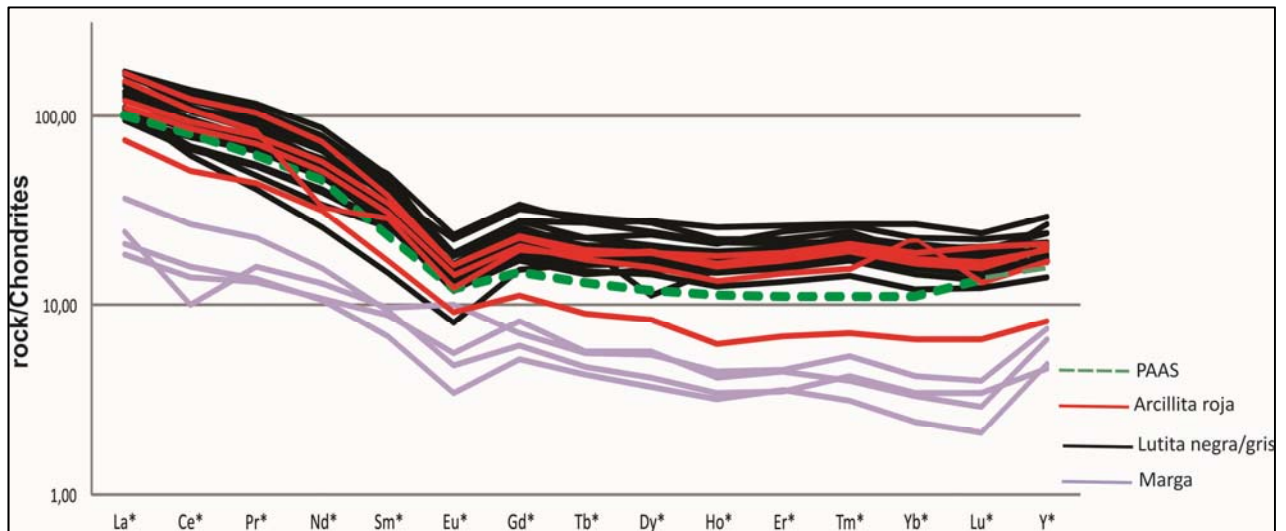


Figura VI.6.6: Se observa la distribución de la composición en REE de las muestras normalizadas UCC, Taylor y Mc Lennan, 1985.

VI.7. Anomalías de Ce y La

Las variaciones en Ce en ambientes actuales son controladas por el potencial redox (Eh) debido a que el Ce es fraccionado por la co-precipitación con óxidos metálicos en condiciones oxidantes. Este fraccionamiento produce anomalías negativas de Ce en el agua de mar. Por el contrario, no existe fraccionamiento del Ce en condiciones reductoras, bajo aguas anóxicas o condiciones anóxicas dentro de la cuenca (en interior del sedimento), (Wright *et al.*, 1987).

Para calcular la anomalía de Ce se utilizó la fórmula propuesta por Elderfield y Graves (1982) que utiliza los valores normalizados (condrito) de Ce, La y Nd y que se expresa: $Ce_{anom} = Ce/Ce^* = (3Ce_N/2La_N + Nd_N)$

En todos los casos, las muestras analizadas señalan anomalías negativas de Ce (Tabla VI.7), es decir con valores de Ce/Ce* menores a 1 y eventualmente anomalías positivas de Eu que varían entre 1 y 1,6.

Es importante considerar, como se ha mencionado en muchos de los recientes aportes, que las anomalías de Ce pueden ser alteradas durante la diagénesis, para lo que debe establecerse las relaciones de La_N/Sm_N que deberán ser $> 0,35$ (Figura VI 7a). Como puede verse en la tabla, todos los resultados obtenidos en este estudio cumplen con esta condición (Tabla VI.7; Figura VI 7a), por lo que no habrían sido alterados por procesos postdeposicionales.

Por otra parte, Shields y Stille (2001) han demostrado que la diagénesis avanzada conduce a una correlación entre las anomalías de Ce y la relación Dy_N/Sm_N , (Figura VI.7 b) y correlaciones positivas entre la anomalía de Ce y los contenidos totales de REE. Todas estas no se manifiestan en los

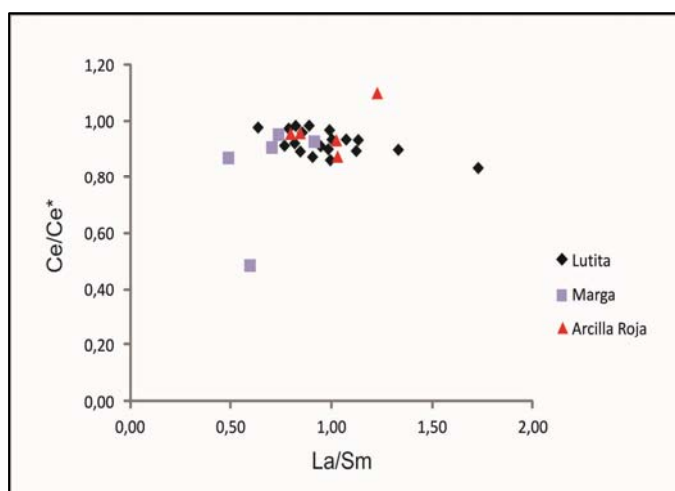
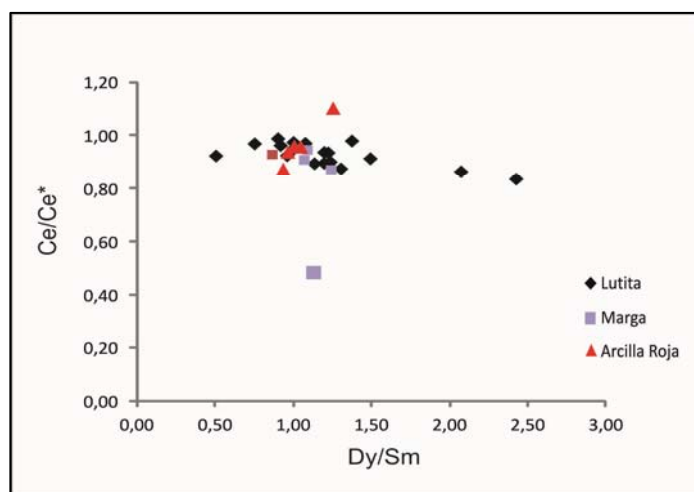
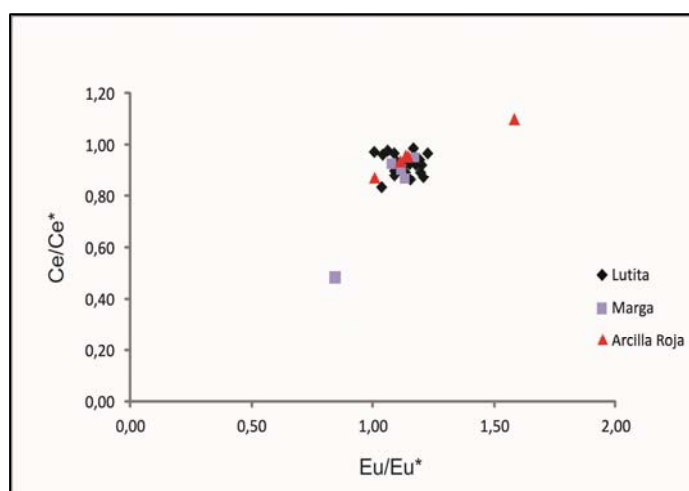
datos aquí aportados, como así tampoco se observan correlaciones entre las anomalías de *Ce* con las relaciones Y/Y^* ni con las de Eu/Eu^* (Figura VI.7 c y d). Por estas razones, se considera que estas lutitas pueden haber conservado las condiciones paleoredox del mar en el que se depositaron.

Desafortunadamente, la interpretación de anomalías de *Ce* en sedimentos marinos, es complicada debido a la posible presencia de abundancias anormales de *La*, por ejemplo el agua de mar actual tiene elevado contenido de *La* en relación a sus vecinos *Sm*, *Nd* y *Pr* y lo mismo ocurre en presencia de fluidos hidrotermales (Bau y Dulsky 1996). Las variaciones anormales de *Ce* (Ce/Ce^*) pueden resultar de anomalías de *La* y la forma de resolver este dilema es compararla con los valores de Pr/Pr^* (Figura VI.8). Una anomalía negativa de *Ce* resulta inevitablemente en un valor de $Pr/Pr^* > 1$, mientras que una anomalía positiva resulta $Pr/Pr^* < 1$. La combinación de $Ce/Ce^* < 1$ y $Pr/Pr^* \sim 1$ indica por su parte una anomalía positiva de *La*.

En las pelitas analizadas se reconocen 13 muestras que cumplen con la condición de anomalía negativa de *Ce*, mientras que las restantes denotan anomalías de *La*. Por lo tanto se ha podido observar que existen datos de anomalías negativas de *Ce* en algunas muestras que son confirmados debido a que se ubican en el campo III b (Figura VI.9) mientras que otras no cumplen con esta condición. Estos “falsos” resultados pueden entonces responder a un enriquecimiento en *La*.

	3Ce	2La+Nd	3Ce/(2La+Nd)	Ce anomaly	Eu/Eu*	La/Sm	Pr/Pr*	Y/Y*	Dy/Sm
Litología			Ce/Ce*		1,06				
Arcilla Roja	3,39	3,54	0,96	-0,02	1,14	0,79	1,05	1,07	1,05
Arcilla Roja	3,14	3,27	0,96	-0,02	1,13	0,84	1,06	1,08	1,01
Arcilla Roja	4,48	4,77	0,94	-0,03	1,11	1,00	1,06	1,04	0,97
Arcilla Roja	3,92	3,55	1,10	0,04	1,58	1,22	1,37	1,07	1,26
Arcilla Roja	1,85	2,11	0,88	-0,06	1,00	1,00	1,07	1,06	0,94
Lutita	2,82	2,89	0,98	-0,01	1,00	0,79	1,06	0,97	1,00
Lutita	2,39	2,67	0,90	-0,05	1,19	0,84	1,03	1,05	1,14
Lutita	3,22	3,28	0,98	-0,01	1,06	0,63	1,05	1,02	1,38
Lutita	3,19	3,55	0,90	-0,05	1,08	1,12	1,07	1,02	1,20
Lutita	3,98	4,30	0,92	-0,03	1,20	0,79	1,06	1,39	0,51
Lutita	3,40	3,77	0,90	-0,04	1,12	0,98	1,07	1,04	1,15
Lutita	4,09	4,53	0,90	-0,04	1,09	1,33	1,06	1,07	1,24
Lutita	3,83	3,97	0,96	-0,02	1,07	0,84	1,06	1,02	0,92
Lutita	3,17	3,46	0,91	-0,04	1,11	0,94	1,05	0,99	1,49
Lutita	2,25	2,68	0,84	-0,08	1,03	1,72	0,99	1,06	2,43
Lutita	4,62	4,89	0,94	-0,02	1,19	1,00	1,05	1,02	0,99
Lutita	4,97	5,13	0,97	-0,01	1,22	0,82	1,04	1,07	0,75
Lutita	3,48	3,71	0,94	-0,03	1,10	1,07	1,04	1,04	1,20
Lutita	4,39	4,74	0,93	-0,03	1,18	0,77	1,03	0,97	0,96
Lutita	4,82	4,88	0,99	0,00	1,16	0,86	1,04	1,01	0,90
Lutita	2,52	2,88	0,88	-0,06	1,21	0,90	1,01	1,04	1,31
Lutita	2,48	2,87	0,86	-0,06	1,15	0,99	0,97	1,03	2,07
Lutita	3,86	4,13	0,94	-0,03	1,14	1,13	1,04	1,04	1,23
Lutita	4,64	4,80	0,97	-0,02	1,04	0,98	1,03	0,99	1,05
Marga	0,57	0,63	0,91	-0,04	1,12	0,73	1,04	1,33	1,07
Marga	0,96	1,04	0,93	-0,03	1,07	0,91	1,08	1,14	0,87
Marga	0,36	0,74	0,49	-0,31	0,84	0,59	1,27	1,41	1,11
Marga	2,99	3,15	0,95	-0,02	1,17	0,75	1,02	1,03	1,06
Marga	0,51	0,58	0,87	-0,06	1,14	0,48	1,03	1,25	1,24

TablaVI.7: Resultados obtenidos para el cálculo de la anomalía de *Ce* y *La*

Figura VI.7: a) Ce/Ce^* versus La/Sm Figura VI.7: b) Ce/Ce^* versus Dy/Sm Figura VI.7: c) Ce/Ce^* Versus Eu/Eu^*

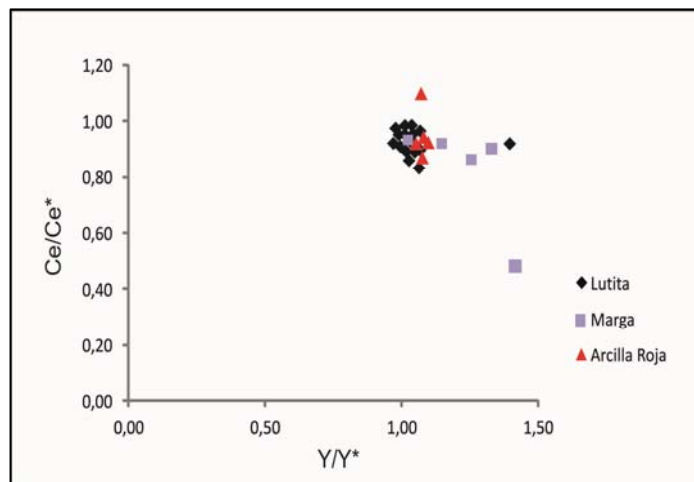


Figura VI.7: d) Ce/Ce^* versus Y/Y^*

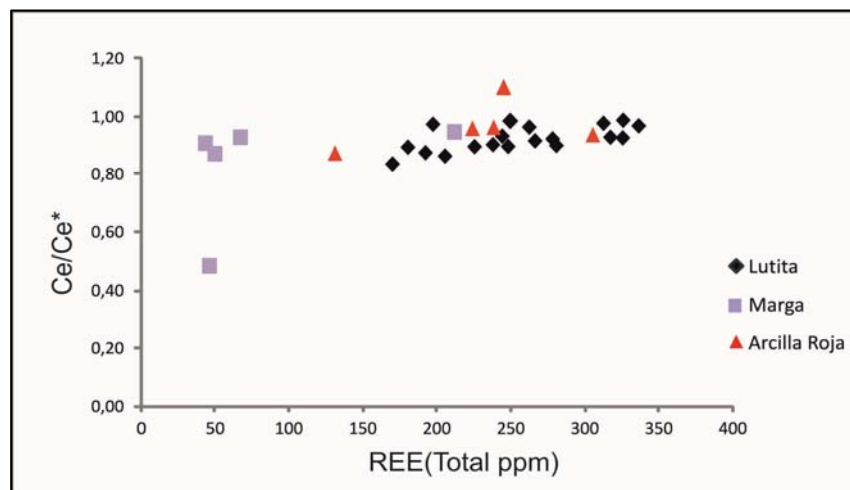


Figura VI.8: Ce/Ce^* versus REE

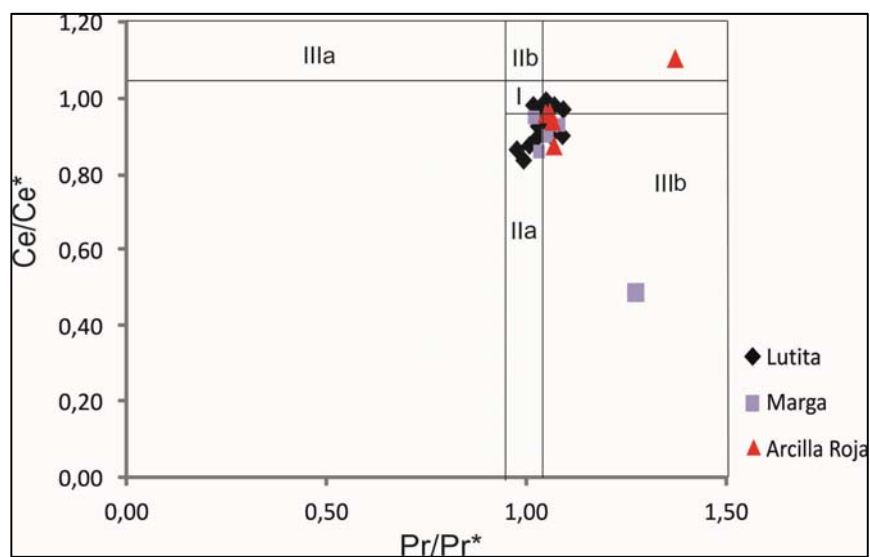


Figura VI.9: Ce/Ce^* versus Pr/Pr^* - Campo I: Sin anomalía de Ce ni de Pr; Campo II: anomalía positiva de La; Campo IIIa: anomalía positiva de Ce, campo IIIb: anomalía negativa de Ce (Bau y Dulski, 1996).

VI.8 Análisis de la materia Orgánica

Los sedimentos ricos en carbono orgánico están restringidos a pequeñas áreas a lo largo de los márgenes continentales de los océanos modernos y rara vez se han acumulado durante el Cenozoico, pero fueron ampliamente depositados durante varios intervalos de tiempo del Paleozoico - Mesozoico y aún más temprano durante el Arcaico – Proterozoico (Negri *et al.*, 2006).

Los exámenes de carbono orgánico total permiten obtener parámetros muy útiles para evaluar los ambientes depositacionales, tanto en escala local como regional, y reconocer el potencial de la roca como generadora de hidrocarburos (Tyson, 1995; Batten, 1996).

Por estos motivos y teniendo en cuenta que un gran porcentaje de las rocas que se estudia en este trabajo de tesis, reúnen las características distintivas que se esperan encontrar en rocas portadoras de materia orgánica, entre las que se destacan: colores que gradan entre gris oscuro a negros, estructuras con marcada laminación paralela continua, presencia de motas y/o minerales bien desarrollados de pirita y escasa o nula bioturbación. Se llevó a cabo el muestreo correspondiente y posterior envío de las muestras al laboratorio Geolab – Sur para obtener los parámetros de carbono orgánico total (COT).

Para ello se seleccionaron un total de 12 muestras que corresponden a 3 para cada uno de los siguientes perfiles: TA 22, TA 23, TCA 10 y TSE 34 (Tabla VI.8.a). Es importante remarcar que las muestras elegidas fueron aquellas con un marcado color negro y una fuerte laminación, y en el mejor de los casos presencia de cristales de pirita.

Como se puede observar, en la mayoría de las muestras el contenido de COT es muy bajo (menor a 0,1 %) mientras que algunas registran valores más altos que varían entre 0,1 y 0,3%, los cuales continúan teniendo un porcentaje relativamente bajo.



GEO LAB SUR
 GEOCHEMICAL LABORATORY

PROYECTO: 10AR00144
COMPANÍA: APACHE
POZO/ÁREA: TA/TCA/TSE

Carbono Organico Total				
REG.	Muestra	Tipo	Facies	COT
N°				(%)
VIAR000881	TA 22 - 75	TC	Lutitas Negras	0,02
VIAR000882	TA 22 - 82	TC	Lutitas Negras	0,03
VIAR000883	TA 22 - 120	TC	Lutitas Negras	0,02
VIAR000884	TA 23 - 72.50	TC	Lutitas Negras	0,15
VIAR000885	TA 23 - 81.90	TC	Lutitas Negras	0,07
VIAR000886	TA 23 - 91.35	TC	Lutitas Negras	0,03
VIAR000887	TCA 10 - 63	TC	Lutitas Negras	0,27
VIAR000888	TCA 10 - 104	TC	Lutitas Negras	0,31
VIAR000889	TCA 10 - 207	TC	Lutitas Negras	0,05
VIAR000890	TSE 34 - 46	TC	Lutitas Negras	0,03
VIAR000891	TSE 34 - 59	TC	Lutitas Negras	0,1
VIAR000892	TSE 34 - 65	TC	Lutitas Negras	0,09

COT: Carbono Orgánico Total (peso %).
TC: Testigo corona

Tabla VI.8: a) Tabla de resultados para los análisis de TOC en muestras de los perfiles TA22; TA23, TCA 10, TSE 34.

VI.9. Conclusiones preliminares:

De los estudios geoquímicos llevados a cabo se permiten obtener las siguientes interpretaciones:

- I. Ciertos elementos mayoritarios y trazas, y sus relaciones expresadas en los diferentes gráficos (Figuras VI.6.1, VI.6.4 y VI.6.5) ha permitido postular las posibles áreas de procedencia como de carácter de **arco de isla continental** y de **arco continental marginal** para las lutitas negras/grises y para las arcilitas rojas (estas últimas con una distribución más dispersa).
- II. Por otro lado, los resultados de análisis de tierras raras, muestras que las rocas tienen un patrón similar al PAAS, En el caso de las pelitas se observa un cierto enriquecimiento en las mismas, el cual a veces alcanza valores superiores al PAAS (Figura VI.6 6).
- III. Las anomalías de Ce son negativas y se ha demostrado que las rocas no presentan modificaciones importantes por procesos postdeposicionales (todos los valores de La/Sm son mayores a 0,35), razón por la cual permiten sugerir condiciones de buena circulación y oxigenación del agua de mar al momento de su depositación.
- IV. Por lo dicho en el punto anterior, se podría sugerir y en consecuencia que la escasa preservación de la materia orgánica podría estar en relación a la interacción de la misma con un ambiente oxidante, pero hay elementos que sugieren lo contrario, como ser el color oscuro, la presencia de pirita tanto cubica como diseminada en patinas, dendritas de manganeso y la abundante presencia de palinomorfos (ver capítulo VII).
- V. Sin embargo, de acuerdo a la propuesta de Bau y Dulsky (1996), las anomalías de Ce podrían no reflejar la realidad debido a la presencia de anomalías de La que pueden interferir en las mismas. En este sentido el enriquecimiento de La registrado en un grupo de muestras (FiguraVI.9), sumado a las anomalías positivas de Eu y al enriquecimiento en REE, podrían ser evidencias de la circulación de un fluido caliente que afectara a la sucesión de manera discontinúa.

CAPÍTULO VII

VII Análisis Palinológico

VII.1 Introducción

VII.2 Diversidad paleogeografía y paleoecológica durante el Proterozoico

VII.3 Proceso y material palinológico

VII.4 Elección de las muestras

VII.5 Descripción y clasificación de los microfósiles

VII.6 índice relativo de madurez térmica

VII.7 Conclusiones preliminares

VII (Análisis Palinológico)

VII.1 Introducción.

El término ACRITARCHA proviene del Griego: **AKRITOS**, INCIERTO; **ARCHE**, ORIGEN.

Los acritarcos son microfósiles de pared orgánica considerados mayormente como protistas unicelulares y se encuentran entre los primeros eucariotas preservados del registro fósil (Vidal y Moczydlowska-Vidal, 1997) que no han sido asignados a un grupo de organismos conocidos (Strother, 1996). Su importancia radica en que dominan el registro fósil del Proterozoico (2500-542 Ma) y el Cámbrico (542-488 Ma).

La mayoría de los acritarcos del Proterozoico y Paleozoico se consideran como protistas fotosintéticos unicelulares planctónicos, aunque algunos pueden representar algas pluricelulares (Mendelson, 1987); y hasta han sido asignados, tentativamente, al Reino Fungi (Butterfield, 2005). Actualmente se consideran como representantes, en su mayoría, de quistes de resistencia de algas protistas (Vecoli y Le Herissè, 2004).

Las inconsistencias taxonómicas entre los distintos especialistas han dificultado plantear una historia evolutiva y han llevado a cuestionamientos sobre la validez de algunas designaciones taxonómicas. Es importante aclarar que la mayoría de las clasificaciones no se basan en las usadas tradicionalmente en la paleontología, lo que resulta un problema cuando se trata de acritarcos, y conduce por ejemplo, a una sobreestimación de la diversidad (Butterfield, 2004).

Los acritarcos son una importante fuente de información paleobiológica, y a su vez, representan el registro fósil de la base de la cadena alimentaria a nivel mundial durante el Proterozoico y Paleozoico inferior. Junto con las cianobacterias, registran la historia de la producción de oxígeno autótrofo, por lo que han tenido un efecto profundo en la composición de la atmósfera y la posterior evolución de la vida en la Tierra (Strother 1996).

VII.2 Diversidad paleogeografía y paleoecológica durante el Proterozoico

La diversidad de acritarcos fue baja durante el Paleoproterozoico hasta el Neoproterozoico temprano, y aumentó considerablemente hacia fines del Neoproterozoico temprano, mostrando fuertes caídas durante los eventos de glaciación del Neoproterozoico medio, para volver a aumentar en el Neoproterozoico tardío. Finalmente una fuerte disminución de la diversidad se dio con la aparición de los organismos macroscópicos en el Paleozoico, entre estos últimos, algunos ya eran metazoos y se relacionó esta disminución con que dichos metazoos se alimentaban de los acritarcos (Fedonkin y Waggoner, 1997).

En la figura VII.1 se hace referencia a las estimaciones de la diversidad taxonómica de los acritarcos durante el Proterozoico y a principios del Paleozoico, como se mencionara en el párrafo anterior (Knoll 1994 y modificado por Vidal *et al.*, 1997).

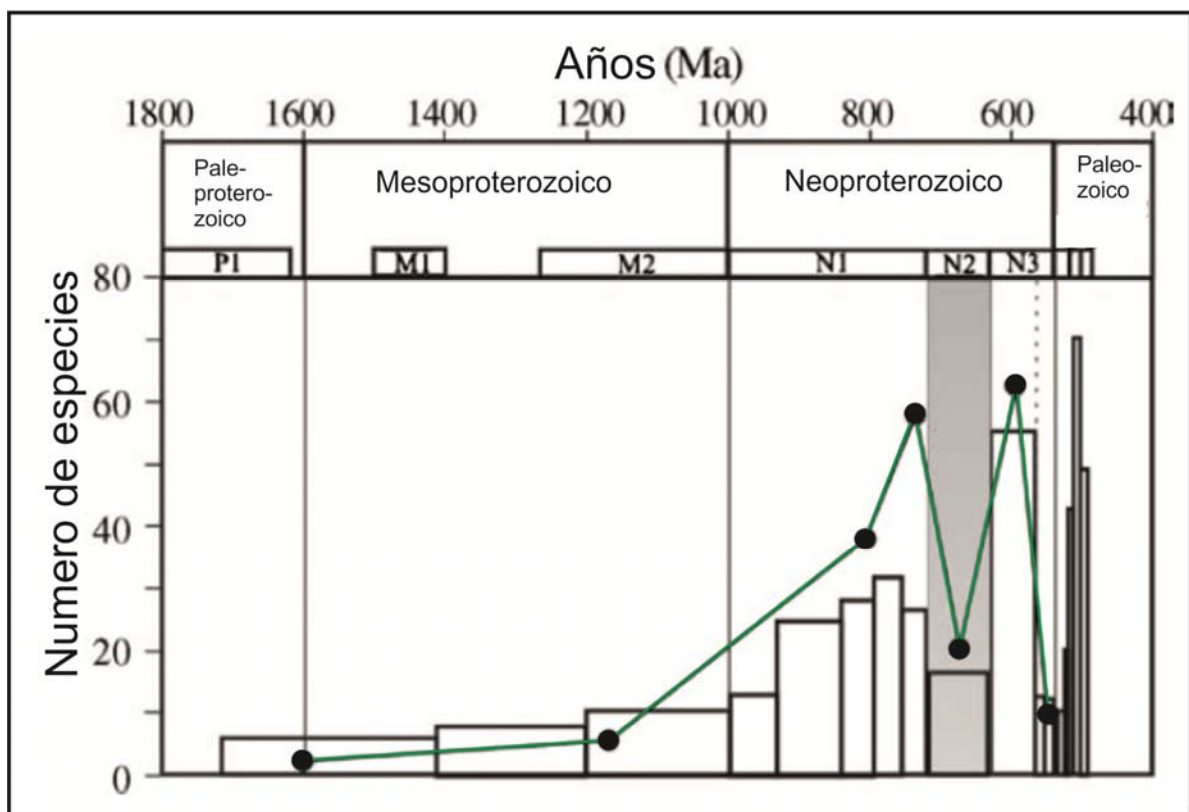


Figura VII.1: Estimación de la diversidad taxonómica de los acritarcos durante el Proterozoico y principios del Paleozoico, Knoll (1994), Vidal y Moczydlowska-Vidal (1997). Las líneas negras verticales representan los límites época; La línea vertical punteada a la izquierda marca el límite Neoproterozoico / Paleozoico indicando la primera aparición de organismos Ediacara. El cuadro gris representa el Período Criogénico cuando se produjeron múltiples glaciaciones globales. La línea punteada ubicada en el N3 indica la primera aparición de fauna ediacarana.

El Mesoproterozoico fue descrito por diferentes autores como una época donde se generaron pocos cambios, tanto ambientales como tectónicos. Buick (1995) lo denomina como “The Dullest time in the Earth’s History (p. 153)” haciendo referencia a un periodo de tiempo donde la variación taxonómica fue mucho menor a la que se daba en el Neoproterozoico.

El Neoproterozoico tardío, quizás haya presentado los eventos climáticos globales más dramáticos de la historia de la Tierra, evidenciados por glaciaciones globales que según diversos autores, se extendieron hasta el Ecuador llegando a tener más de un 1 km de espesor (Kirschvink, 1992; Hoffman *et al.*, 1998; Hoffman y Schrag, 2002).

Es importante repasar, por la importancia que tiene durante el Proterozoico, la idea de la tierra como una bola de nieve (*snowball Earth*), esta hipótesis ha sido criticada por diversos autores por motivos biológicos/paleontológicos, teniendo en cuenta que el registro fósil indica claramente que varios de los principales clados fotosintéticos, como las algas verdes, rojas, y las cromofitas evolucionaron antes y durante las glaciaciones Criogénicas (Butterfield *et al.*, 1997; Butterfield, 2000, 2004; Corsetti *et al.*, 2003; Olcott *et al.*, 2005). Por tal motivo si el modelo de bola de nieve es correcto, entonces estos tres clados de algas deben haber sobrevivido a tal glaciación global, ya sea en grietas del hielo marino, en respiraderos hidrotermales, en aguas frescas estancadas o tal vez en un océano tropical libre de hielo que pueden haber persistido durante los acontecimientos de *snowball Earth* (Hyde *et al.*, 2000; Runnegar, 2000).

Runnegar (2000), realizó diferentes planteos sobre las consecuencias biológicas de las glaciaciones Criogénicas. Si se plantea un estricto escenario de “*snowball Earth*” éste daría lugar a un “cuello de botella” evolutivo con la extinción de casi todos los linajes eucariotas; sin embargo un escenario libre de hielo y mares tropicales, resultaría, según Runnegar (2000) en un refugio de “agua azul” con el filtrado selectivo de linajes eucariotas que favorecen a formas típicas de mar abierto planctónicas.

Un ordenamiento de ideas fue propuesto por Gaucher y Sprechmann (2010), quienes basados en autores como Vidal y Moczydlowska-Vidal, (1997); Knoll, (2000); Huntley *et al.* (2006); propusieron una división durante la evolución de los acritarcos en el Neoproterozoico a saber:

1. Una diversificación Toniana a Cryogeniana temprana;
2. Crisis de mediados del Criogénico;
3. La recuperación biológica de mediados del Criogénico;
4. La crisis de finales del Criogénico;
5. La recuperación del Ediacariano temprano;
6. La diversificación explosiva en el Ediacariano medio;
7. La crisis del Ediacariano tardío;

8. Por último la “explosión” Cámbrica.

En la figura VII.2, se observan las 8 etapas propuestas por dichos autores, remarcado por un recuadro rojo, los límites temporales que se estima corresponden a la zona de estudio de este trabajo de tesis.

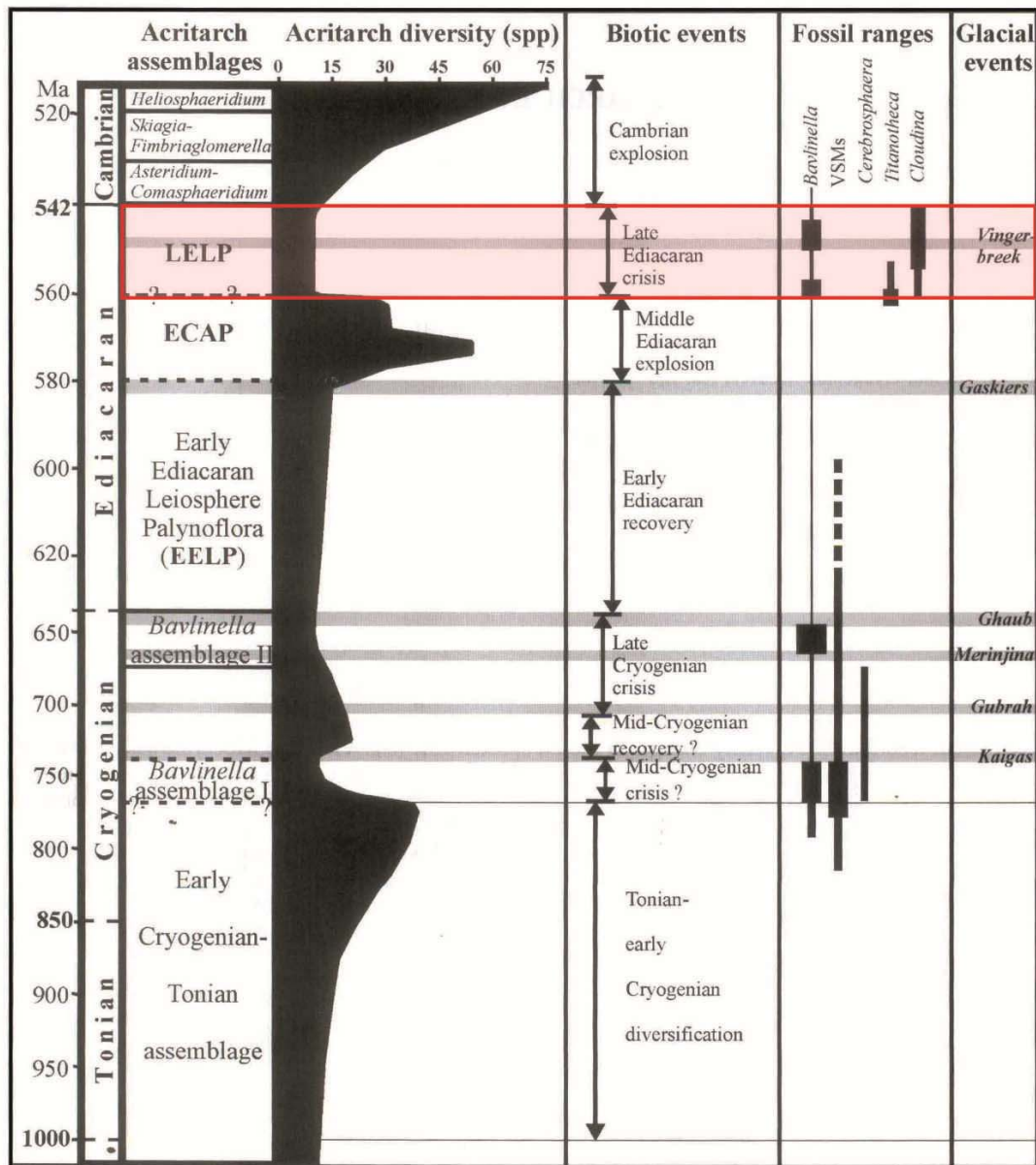


Figura VII.2. Esquema de la diversidad mundial de los acritarcos para el Neoproterozoico-Cámbrico basado en Vidal y Moczydowska – Vidal (1997), Grey (2005), Knoll *et al* (2006) y Moczydowska (2008a).

Edades de los eventos glaciares según (de base a techo) Frimmel *et al* (1996), Allen *et al.* (2002), Fanning (2006), Hoffman *et al.* (2004), Bowring *et al.* (2003b) y Germs (1995).

EELP: Early ediacaran leiosphere palynoflora / ECAP: Ediacaran complex acanthomorph palynoflora

LELP: Late ediacaran leiosphere palynoflora.

Los acritarcos son actualmente utilizados para correlacionar unidades, cuando se carece de fósiles convencionales, como es el caso de las unidades precámbricas. Hay que tener muy presente las dificultades con las que se puede encontrar la palinología del Precámbrico, ya que las morfologías observadas son simples. En general se reconocen formas más o menos esféricas, de diámetros variables (200 a 100 μm), aisladas o aglutinadas, lisas o muy poco ornamentadas, incluso a veces con ciertas ornamentaciones, que son producto del curso propio de la fosilización (Cingolani *et al.*, 1991).

Existen varios modelos que tratan de darle un significado paleoecológico y paleogeográfico a los diferentes tipos morfológicos de acritarcos. Williams y Sarjeant (1967) postulan que los acritarcos no son buenos indicadores de profundidad, lo que tiene sentido para un grupo cuyo requisito fisiológico más importante es la fotosíntesis, limitándolos a la zona fótica lo cual los ubica cerca de la línea de costa.

Wall (1965) reforzó la noción de que, en mar abierto, se producen las colecciones más diversas de acritarcos, postulando que: las poblaciones dominadas fuertemente por una sola especie provienen de las algas que habitan en las aguas costeras, por ejemplo los acantomophas simples. Por otra parte, en las zonas con gran diversidad de especies, generalmente los organismos heterótrofos se acumulan en mar abierto.

Para Strother (1994) la diversidad depende de la profundidad ya que a poca profundidad aumenta la probabilidad de que las poblaciones mono específicas sean preservadas (en los sedimentos del fondo), y que en aguas más profundas se presente mayor mezcla debido al mayor recorrido durante la precipitación del quiste.

Sin embargo, Dorning (1981), presentó un modelo de distribución de géneros de acritarcos en una plataforma marina silúrica, donde se puede observar que las formas más simples y la menor diversidad se encuentran en los dos extremos, en la zonas costeras o de menor profundidad y en mar adentro o mares profundos, mostrando una alta diversidad de géneros y mayor complejidad de formas entre la plataforma y mar adentro (Figura VII.4).

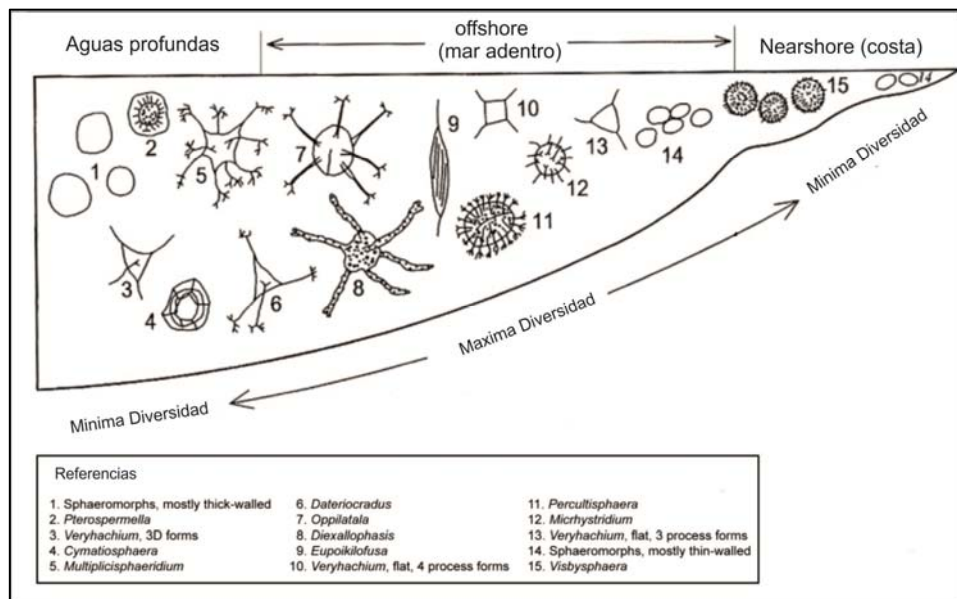


Figura VII.4: Dorning 1981, Modelo de distribución de géneros de Acritarcos Asignada a una plataforma marina silúrica.

Todos los modelos anteriormente citados presumen una simple relación entre la diversidad de géneros de acritarcos y la distancia lineal desde la orilla al mar abierto, pero nadie ha demostrado fehacientemente que esta relación exista. Aunque la mayoría de los autores antes citados coinciden en que especies morfológicamente simples y con procesos cortos, son relativamente más frecuentes, en ambientes proximales de plataforma mostrando una tendencia de aumento de la diversidad y complejidad hacia el offshore. Siguiendo de alguna manera los mismos factores ecológicos y ambientales que afectan la distribución del fitoplancton moderno, sin perder de vista aquellos que condicionan la distribución de los acritarcos como ser las corrientes oceánicas, aumento y descenso del nivel del mar, factores sedimentológicos como variaciones en la tasa de sedimentación entre otros parámetros.

VII.3 Procesamiento y material palinológico

“...Un buen procesamiento palinológico es un arte libre que requiere una habilidad sutil, el conocimiento y las manos en la participación...” Wood *et. al.* (1996).

Los métodos empleados dependen de los resultados disponibles y de los recursos requeridos. Para este trabajo se seleccionaron 19 muestras obtenidas de las facies de lutitas negras/grises (Lng) y de las facies de pelitas rojas (PArm). Estas fueron preparadas bajo un procedimiento de maceración palinológica convencional. Un total de 12 muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Micropaleontología de la Facultad de Ciencias, Montevideo, bajo la dirección de Dr. Claudio Gaucher y

otra conjunto de 7 muestras se analizaron bajo el mismo procedimiento, en el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) bajo la dirección de la Dra. Susana de la Puente (Cricyt, Mendoza).

El procedimiento empleado (detallado en el capítulo II, sección II.2.3.7) consistió en triturar las muestras en un mortero de porcelana, para obtener unos 150 gramos aproximadamente y luego se embebieron en HCl, para liberar todo el carbonato presente. Se procedió al lavado de la muestra para luego embeberla en HF (al 72%) durante 24 horas para atacar los residuos de silicato.

Después de la neutralización con agua destilada, se utilizó HCl caliente (al 30 %) para disolver los fluoruros. Los residuos orgánicos restantes se recuperaron por medio de un filtrado en un papel o tela de filtro de 5 micras, para ser almacenado en frascos de vidrio y montados en portaobjetos de vidrio estándar con glicerina-gelatina.

Durante la preparación, se procedió a la sedimentación por gravedad en lugar de centrifugación, para evitar la destrucción de los acritarcos más grandes, ya que estos resultan ser los más frágiles debido a su tamaño.

Los microfósiles obtenidos fueron examinados bajo un microscopio Leica DM LP polarización, utilizando luz transmitida, reflejada y una combinación de ambas (transmitida y reflejada); estos microscopios han permitido obtener fotografías de los ejemplares estudiados.

VII.4 Selección de las muestras.

La selección de las muestras para palinología es una tarea muy importante, ya que de esto depende el objetivo final que es obtener muestras “fértiles” en microfósiles. En este trabajo, 14 de las 19 muestras son lutitas negras, material texturalmente muy fino, con alto contenido de arcillas y de colores oscuros, lo que sugiere que no han estado expuestas a fenómenos oxidantes; estas condiciones hacen a la muestra altamente propicia para la búsqueda de acritarcos.

Otras 4 muestras corresponden a arcilitas rojas, que si bien por su color rojo se evidencia una clara exposición a la oxidación y por lo tanto las probabilidades de obtención de palinomorfos es menor, es importante intentar recuperar material, para luego realizar una comparación con las facies de lutitas negras/grises. Por último, 1 muestra corresponde a la facies de Margas.

Es importante aclarar que las 19 muestras han recibido el mismo tratamiento (Tabla 1.).

Lamina	Localidad	Litología	Nombre de la Muestra	Observaciones	Peso	Fértiles
I	Olavarría	Lutita Negra	TA 22 (100)		> 15 gr.	Si (Mal preservados)
II	Olavarría	Lutita Negra	TA 22 (123)	Hcl Frio	17 gr.	Si
III	Olavarría	Lutita Negra	TA 22 (130)	Hcl Frio	11 gr.	Si (Mal preservados)
IV	Olavarría	Lutita Negra	TA 22 (148)		13,5 gr.	Si
V	Olavarría	Arcillita Roja	TA 23 (54)		> 15 gr.	Si (Mal preservados)
VI	Olavarría	Arcillita Roja	TA 23 (67)		7 gr.	Si
VII	Olavarría	Lutita Negra	TA 23 (78)		11,4 gr.	Si
IIIX	Olavarría	Lutita Negra	TA 23 (85)	Hcl Frio	11,3 gr.	Si (Mal preservados)
IX	Olavarría	Lutita Negra	TA 23 (100)		> 15 gr.	Si
X	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (74)		> 15 gr.	Si
XI	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (80)	Baja reacción al Hcl	> 15 gr.	Si
XII	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (86)		> 15 gr.	No
XIII	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (90)		> 15 gr.	Si (Mal preservados)
XIV	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (100)		> 15 gr.	Si
XV	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (168)		> 15 gr.	Si
XVI	Olavarría	Lutita Negra	TCA 5 (170)		> 15 gr.	Si
XVII	Olavarría	Arcillita Roja	TA 21 (96,5)		< 10 gr.	No
XIIX	Olavarría	Arcillita Roja	TCA 3 (55)	Baja reacción al Hcl	> 15 gr.	No
XIX	Olavarría	Marga	Marga el polvorin	Alta reacción al Hcl	> 15 gr.	No

Tabla 1: Muestra procesadas para el estudio de palinomorfos en la zona de estudio.

VII.5 Descripción y clasificación de los microfósiles.

Existen varias clasificaciones morfológicas para determinar a los acritarcos, entre ellas se encuentran la de Downie *et al.* (1963) que clasifica los acritarcos en 13 subgrupos, basados en la morfología externa y el tratamiento taxonómico en géneros y especies (morfogéneros y morfoespecies); este autor propuso el uso del Código internacional de Nomenclatura Botánica (Figura VII.5).

Diver y Paet (1979), al igual que Sarjeant y Stancliffe (1994) y prosiguen con la clasificación de Downie *et al.* (1963), reconocen subgrupos dentro del grupo acritarca, utilizando mayúsculas y latinizando las terminaciones de los nombres. Estas subdivisiones resultan óptimas en estudios puntuales y aislados, pero se transforman en dificultosas cuando se le quiere dar una aplicación estratigráfica.

SUBGRUPOS	ETIMOLOGÍA	DIAGNOSIS	ESQUEMA
Sphaeromorphitae	sphaira esfera	Vesícula esférica sin ornamentación Superficie lisa o granulosa	
Pteromorphitae	pteros ala	Cuerpo esférico rodeado por una membrana sostenida o no por procesos Superficie lisa o granulosa	
Herkomorphitae	herkos muro	Vesícula esférica Superficie dividida en campos poligonales limitados por membranas	
Netromorphitae	netron huso	Vesícula fusiforme que puede prolongarse, en alguno o ambos extremos, en uno o más procesos Superficie lisa	
Diacromorphitae	di-akron dos polos	Cuerpo bipolar ornamentado	
Polygonomorphitae	poly-gonia muchos ángulos	Cuerpo poligonal Procesos poco numerosos	
Acanthomorphitae	akantha espina	Cuerpo esférico Procesos mas o menos numerosos simples o ramificados	
Primatormorphitae	prisma prisma	Cuerpo prismático cuyos ángulos se prolongan en procesos Rodeado de una membrana dentada	

Figura VII.5: Clasificación de acritarcos en 8 grupos, basada en la morfología, extraído de Downie *et al.* (1963).

En este trabajo de tesis, se toma como premisa que la morfología simple y la poca ornamentación de la pared de los microfósiles, es lo que comúnmente predomina en el Precámbrico (Downie *et al* 1963) y se utilizó como guía la clasificación de Butterfield, N.J., Knoll, A.H. y Swett, K. (1994).

Se presenta a continuación la sistematización de los ejemplares característicos de las unidades estudiadas y mejor preservados de cada lámina analizada.

Incertae Sedis

Grupo *Acritarch* (Evitt, 1963)

Genero *Leiosphaeridia* (Eisenack, 1958)

Especie *Leiosphaeridia baltica* (Eisenack, 1958, p. 2-3)

Jankauskas *et al.* (1989) ofrecen una revisión exhaustiva de acritarcas proterozoicas del genero *Leiosphaeridia*, separándolas según el espesor de las paredes lisas de los especímenes; a saber: *Leiosphaeridia minutissima* el ancho de la pared no supera los 70 μm y para *Leiosphaeridia tenuissima* el ancho de la pared se encuentra entre los 70 y 200 μm .

- A) *Leiosphaeridia minutissima*, Vesículas elipsoidales comprimidos con pliegues irregulares, rectilíneos o curvilíneos, de diámetro entre 65 μm mínimo y 140 μm máximo. Espesor de la pared < 70 μm y opaca debido a la carbonización avanzada?

Los ejemplos se muestran en las siguientes láminas:

Lámina IV -TA 22 (metro 148) Fig. C y D.

Lámina VII -TA 23 (metro 78) Fig. F, G, H e I

Lámina XIV - TCA 5 (metro 100) Fig. M y N.

Lámina XVI -TCA 5 (metro 170) Fig. O y P.

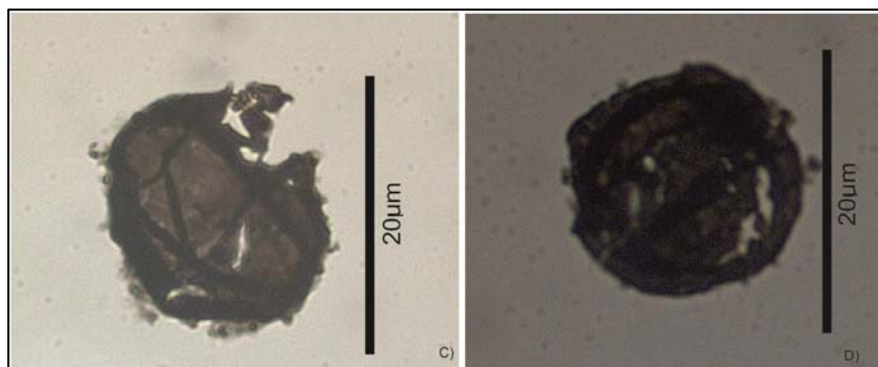


Lámina IV – TA 22 (metro 148)

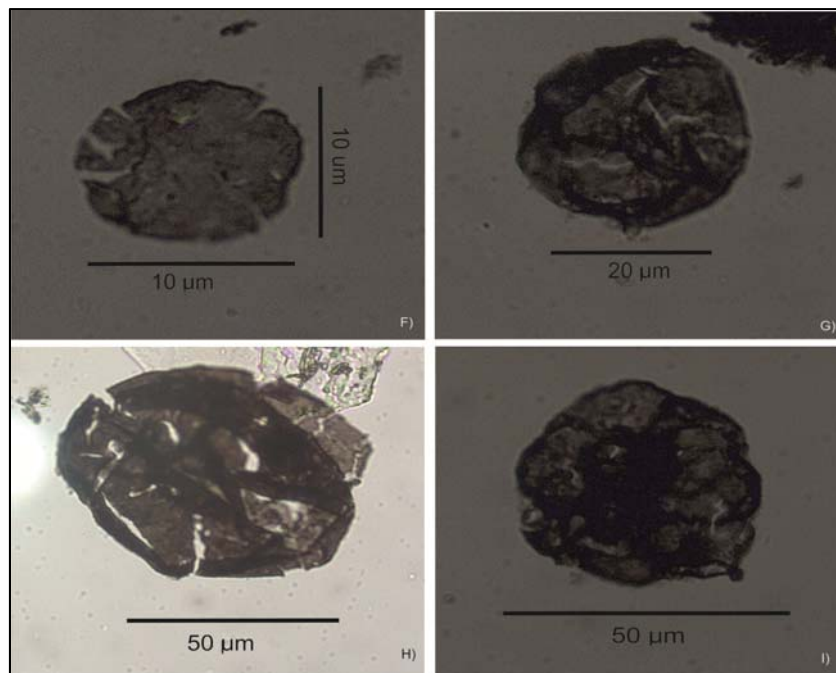


Lámina VII – TA 23 (metro 78)

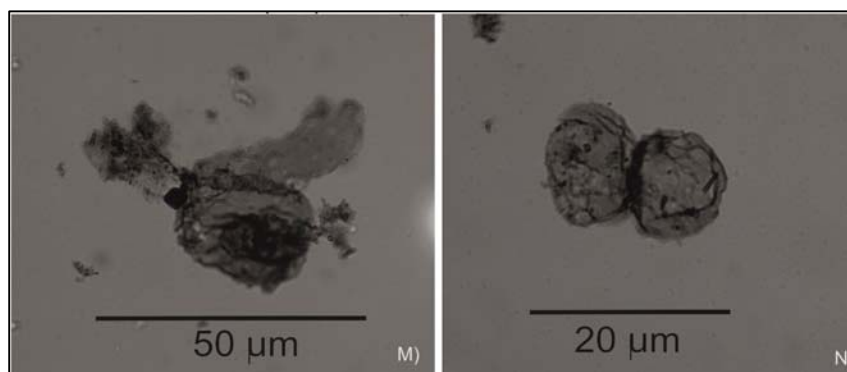


Lámina VIV – TCA 5 (metro 100)

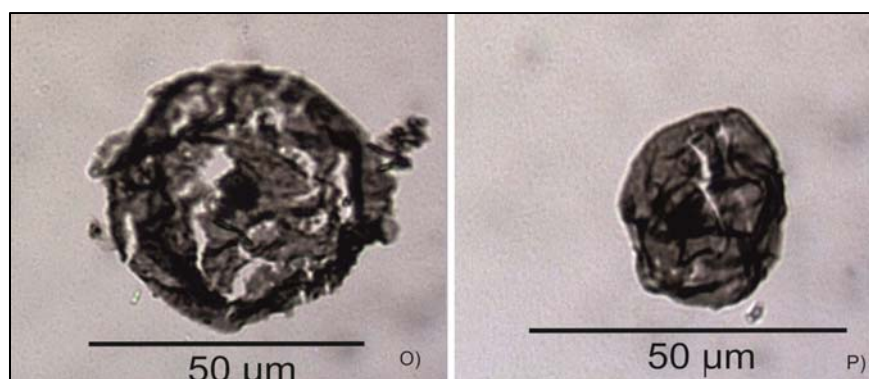


Lámina XVI – TCA 5 (metro 170)

B) *Leiosphaeridia tenuissima*, espesor de la pared entre 70 a 200 μm . Al igual que las *Leiosphaeridia minutissima*, son vesículas elipsoidales con pliegues irregulares, rectilíneos o curvilíneos, pero con la diferencia que su diámetro van los 90 μm mínimo y 100 μm máximo. Y el espesor de la pared generalmente es $> 70 \mu\text{m}$. Opacas debido a la carbonatización avanzada.

Los ejemplos encontrados se muestran en las siguientes láminas:

Lámina XV -TCA 5 (168) Fig. Ñ.

Lámina X -TA 25 (74) Fig. J



Lámina XV -TCA 5 (metro 168)

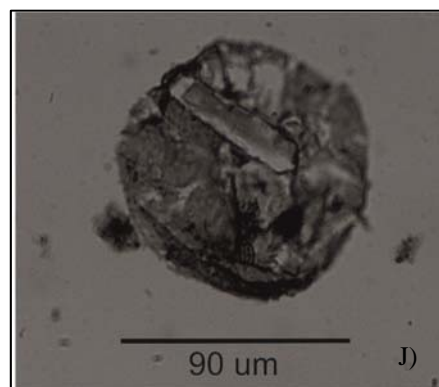


Lámina X – TCA 5 (metro 74)

C) *Synpheridium* (colonia de *leiosphaeridia Minutissima*) con esferoide de 10 a 20 μm de diámetro.

Los ejemplos encontrados se exponen en las siguientes láminas

Lámina VI-TA 23 (65) Fig. E (Único ejemplar **sin carbonatización**)

Lámina II -TA 22 (123) Fig. A.

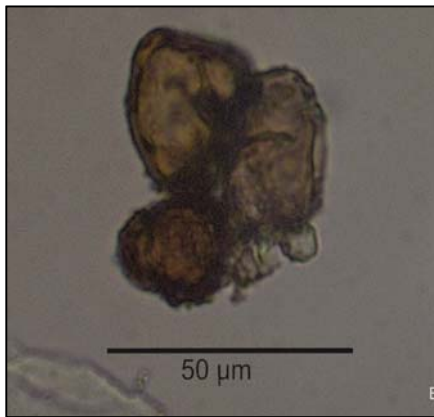


Lámina VI – TA 23 (metro 65)

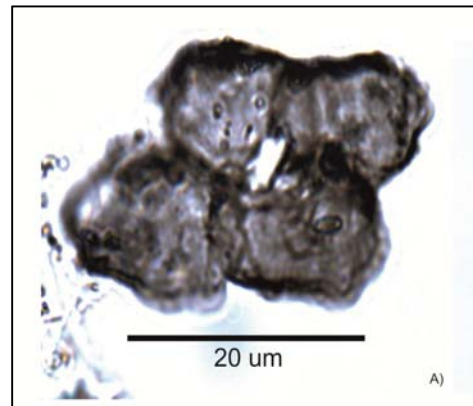


Lámina II – TA 22 (metro 123)

VII.6 índice relativo de madurez térmica

A partir de la observación comparativa del color de los acritarcos se pueden establecer tentativamente indicadores de madurez térmica.

Legall *et al.* (1981), publicaron por primera vez un "Índice de alteración de acritarcos" (AAI), basado en la maduración térmica de los estratos paleozoicos en el sur de Ontario, Canadá.

En este estudio, se calibró el color del género *Leiosphaeridia*, considerado como el más adecuado para la determinación de un índice color por su simple morfología y su gran tamaño. Se estima visualmente el color y, para garantizar la coherencia se lo compara con fotografías en color que representan a cada punto de la escala.

Existe una técnica basada en la observación de los preparados palinológicos con luz transmitida y posterior toma de imágenes en distintas bandas de colores. Las imágenes de los acritarcos seleccionados se capturaron con una cámara de vídeo TK-C1380 Color JVC unida a célula fotoeléctrica del microscopio; permitiendo transformar las bandas de colores en valores numéricos y así poder comparar con otros valores como ser, reflectancia de la vitrinita (VRo), con índices de alteración termal (TAI), % de materia orgánica. Esta práctica no se lleva a cabo en este trabajo por carecer del instrumental, igualmente es muy importante remarcarlo para futuros estudios, ya que poder ubicar los palinomorfos encontrados en una escala de colores, previamente utilizada por otros autores y así poder estimar el grado térmico que estuvieron sometidos sería de una gran importancia.

Tomando como referencia los trabajos de Paerson, (1984) y Dungan (2008) y teniendo en cuenta que el Género *Leiosphaeridia* es el más común en la facies de lutitas negras/grises y en la facies de arcilitas rojas; se procedió a estimar por comparación cualitativa los especímenes encontrados y se

observó que el 100% de las acritarcas encontradas en las facies de lutitas negras están carbonizadas o “quemados” llegando a tonalidades grises a negras, no así para las acritarcas encontradas en las facies de arcillitas rojas de la Fm. Cerro Negro, que no superan las tonalidades de un marrón oscuro (Figura VII 6).

Si al color observado al microscopio, se le suman los datos geoquímicos de TOC (cap. VI), se puede llegar a estimar temperaturas a las cuales han sido expuestas las diferentes litologías; la figura VII.6, permite llevar a cabo esta comparación.

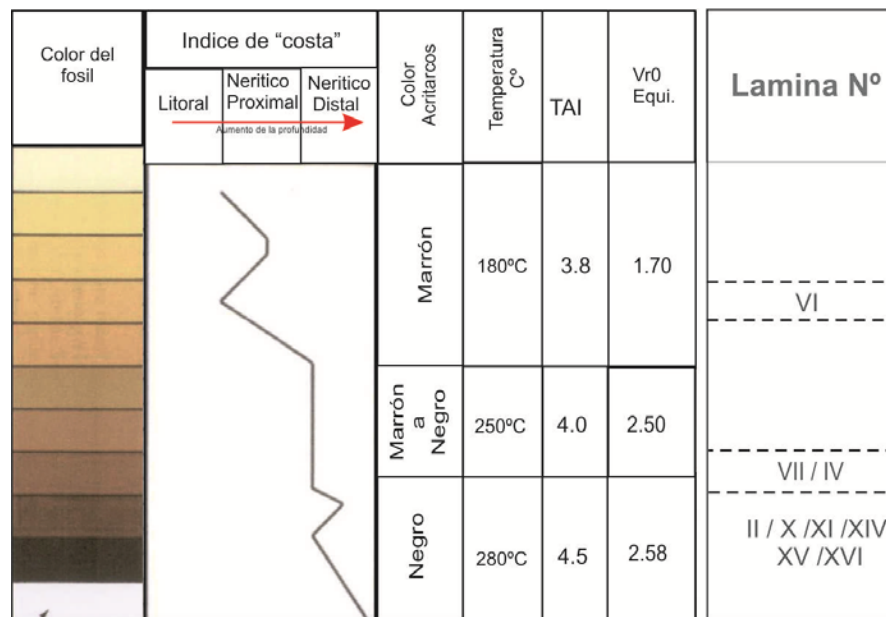


Figura VII.6: Modificado de Pearson, 1984 y Duggan 2008. Variación de la Coloración en fósiles de palinomorfos con la maduración geotérmica referido a los colores estándar Munsell. Abreviaciones: TAI. Índice de alteración termal, Vr0: Reflectancia de la vitrinita. Cº: Temperatura en grados centígrados. En la última columna se ubican las láminas obtenidas referenciadas al color.

Se presenta una gráfica del perfil TA 23 (La figura VII.7) con la ubicación de los ejemplares obtenidos de la maceración palinológica, como un ejemplo claro, para visualizar dónde se ubican los acritarcos “quemados” con tintes negros (facies lutitas negras/grises) y dónde se ubican los acritarcos sin signos de carbonización con tintes marrones claros (facies de arcillitas rojas).

Teniendo en cuenta lo expuesto en los trabajos de Pearson, (1984) y Duggan (2008), se puede llegar a inferir que aquellos especímenes “quemados” han sido expuestos a temperaturas mayores de los 150° a 200°C.

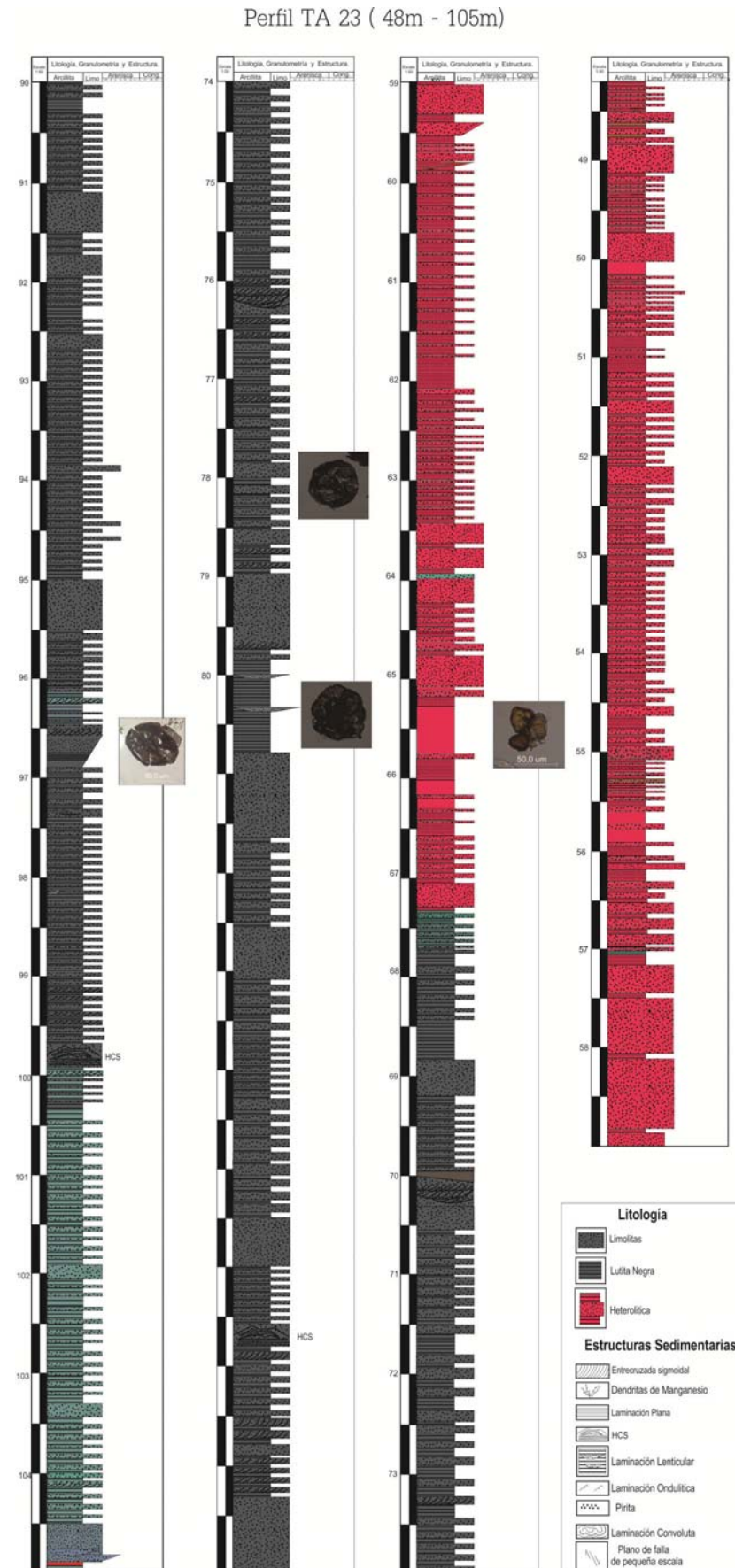


Figura VII.7: Perfil sedimentológico TA 23 con la ubicación de los ejemplares encontrados.

VII.7 Conclusiones preliminares

El conjunto de acritarcas recuperadas de los preparados palinológicos, se caracterizan por: la baja diversidad de especímenes, por el dominio casi exclusivo de *Leiosphaeridia minutissima* y de *Leiosphaeridia*, y por la ausencia de acritarcas de diámetros grandes como sphaeromorphs (400 μ m de diámetro). Según los trabajos de Zhou *et al.* (2007), llevados a cabo mayormente en materiales del Neoproterozoico del sur de China, los acanthomorphs complejos se encuentran en una línea de tiempo que va entre los 635 y 580 Ma. Si se considera que la zona de estudio se encuentra en un rango temporal que se ubica dentro del Neoproterozoico superior o periodo Ediacariano (635 – 541 \pm Ma. IUGS 2013) se podría sugerir que su ausencia, se debe al hecho de que las sucesiones sedimentarias estudiadas en este trabajo, han sido depositadas después de los 580 Ma.

Una característica muy particular es que todos los ejemplares obtenidos en la facies de lutitas negras/grises (Lng), independientemente del espécimen que se trate, están “quemados” o con una alta carbonización, producto de haber estado expuesto a temperaturas mayores a los 150° (Pearson, 1984 y Duggan, 2008).

Tomando como premisa la baja diversidad y dominancia de sphaeromorphs (*Leiosphaeridia*), el conjunto de acritarcas encontrados se puede asignar a la “Ediacaran Leiosphere palinoflora de Grey *et al.* (2003) equivalente a la asociación denominada “Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora” o LELP (Figura VII.2) por Moczydlowska-Vidal, 1997; Knoll, 2000.

CAPÍTULO VIII

VIII. Aplicaciones Industriales

VIII.1 Introducción

VIII.2. Normativa para la correcta definición de Puzolana

VIII.3 Objetivo

VIII.4 Composición química de los materiales puzolánicos

VIII.5 Arcillas calcinadas

VIII.6 Materia disponible: arcillas rojas: Formación Cerro Negro y lutitas negras: Formación

Alicia

VIII.7 Procedimiento experimental

VIII.8. Conclusiones

VIII

(Aplicaciones Industriales)

VIII.1. Introducción

En el marco de este trabajo de tesis se dispuso añadir un capítulo de: aplicaciones industriales, ya que paralelamente a las etapas de campo y gabinete, se realizaron en conjunto con la empresa Cementos Avellaneda S.A, diversos estudios fisicoquímicos en las lutitas negras grises de la Formación Alicia y pelitas rojas de la Formación Cerro Negro, con el propósito de investigar utilidad de estos materiales en la industria cementera.

En la actualidad por razones económicas y medioambientales, la industria cementera busca optimizar el uso de diferentes materiales cementicios complementarios, con el fin de sustituir, en medianas proporciones, a la piedra caliza en la elaboración del clinker (comúnmente llamada “caliza cocida”).

El uso de materiales puzolánicos en la industria cementera es una práctica habitual, tanto en la elaboración de diferentes tipos de cementos como de hormigones, constituye una vía óptima, no solo porque se reduce el consumo de la materia prima aumentando las reservas, sino que también se favorece a la disminución en el consumo energético y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, permite el incremento de la resistencia mecánica y de la durabilidad frente a un determinado número de agentes ambientales, con lo cual se obtienen notables beneficios desde el punto de vista ingenieril, económico y ecológico.

Estos productos puzolanicos, son materiales sílico o sílico-aluminosos, que por sí solos poseen poco o nulo valor cementante, pero finamente divididos por molienda, y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con la portlandita (hidróxido de calcio $\{Ca(OH)_2\}$) a temperatura ordinaria (21° C) para formar compuestos con propiedades cementantes bajo las normas requeridas, (ASTM 618-00, 2005).

Los referentes internacionales permiten identificar que el empleo de materiales con propiedades puzolánicas preceden al uso del cemento, siendo los Romanos precursores al utilizar un material derivado de la molienda de ladrillos de arcilla y ceniza volcánica el “pulvis puteolanus”. Su nombre proviene del pueblo Pozzuoli ubicado en Italia en la región del Vesubio.

Las puzolanas pueden clasificarse según su origen en puzolanas naturales y puzolanas artificiales. Las puzolanas naturales son las rocas existentes en la naturaleza que no precisan para su empleo nada más que su molienda. Entre estas se encuentran las cenizas volcánicas, tobas volcánicas, zeolitas, caolinitas, tierras de diatomeas o diatomitas. Lo característico de todas ellas es que en su

composición química predomine la sílice, y en menor medida el aluminio y el hierro). Por otro lado las puzolanas artificiales son subproductos de técnicas consumidoras de energías, ya sea por emplear altas temperaturas utilizadas en la molienda y calcinación o combustión de materias primas. Sus productos principalmente se encuentran en grandes volúmenes en países desarrollados industrialmente, donde materiales como la ceniza volante (“fly ash”), el humo de sílice (“Silica fume”), las escorias de fundición (“blast furnace slag”) y arcillas calcinadas (metacaolín) se destacan como material abundante y de mayor aceptación para la producción de cementos mezclados o mixtos.

Para el correcto uso de este tipo de materiales es importante conocer su capacidad de reacción frente a la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), liberada por el cemento en su hidratación. Es decir, la reacción puzolánica se caracteriza por el consumo de hidróxido de calcio, por parte de la sílice o alúmina reactiva presente en las puzolanas, para formar los hidrosilicatos de calcio. El contenido del gel de estos productos de reacción es generalmente incrementado, propiciando una menor porosidad capilar y en consecuencia una superior resistencia y durabilidad del cemento (Taylor, 1990; Feldman, 1984; Agwarwal, 2006).

Para caracterizar una puzolana desde el punto de vista de su actividad puzolánica se pueden aplicar diversos métodos complementarios entre sí, los cuales podemos clasificar en: químicos, físicos y mecánicos.

VIII.2. Normativa para la correcta definición de Puzolana

Según **IRAM 1668**: la puzolana es un material silicoaluminoso que a pesar de carecer por sí misma de propiedades aglomerantes hidráulicas, contiene elementos constituyentes que a las temperaturas ordinarias se combinan en presencia de agua, con el hidróxido cálcico y con los diferentes componentes del cemento portland, originando productos de gran estabilidad en el agua y que posean propiedades aglomerantes. Es un producto natural o artificial capaz de sustituir parte del cemento portland en los morteros y hormigones.

La norma **ASTM C618-3**: las puzolanas son materiales silicoaluminosos que, carentes de propiedades cementicias y de actividad hidráulica por sí solos, se combinan con hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos.

Por ultimo los requisitos de cualquier material activo son:

Primera premisa: “contiene elementos constituyentes que a las temperaturas ordinarias se combinan en presencia de agua, con el hidróxido cálcico”.

Segunda premisa: “originando productos de gran estabilidad en el agua y que posean propiedades aglomerantes. Es un producto natural o artificial capaz de sustituir parte del cemento portland en los morteros y hormigones”.

Por otro lado, la Norma IRAM 50000 define a la puzolana en el punto 3.2.3 como material silíceo o silicoaluminoso, o combinación de ambos, de origen natural o resultante de un proceso de calcinación, que posee propiedades puzolánicas. El único requisito que debe cumplir la puzolana según es el índice de actividad puzolánica (IAP) con cemento portland según IRAM 50000, sea como mínimo de 75 %

VIII.3 Objetivo

Este capítulo tiene como objetivo principal dar a conocer las propiedades físico-químicas presentes en las arcillas rojas de las Formación Fm Cerro Negro y de las lutitas negras de la Formación Alicia, siendo todos estos materiales muy abundantes en el área de Olavarría – Sierras Bayas, lo cual garantiza la disponibilidad de materia prima en el caso de obtener resultados positivos para una futura producción de puzolanas artificiales.

Los ensayos se llevaron a cabo en muestras en estado natural, como también en muestras tratadas térmicamente, con el fin de conocer, si la hubiera, la evolución de la reactividad puzolánica.

VIII.4 Composición química de los materiales puzolánicos.

La norma ASTM C618-00 establece que para catalogar a un material como puzolánico, la sumatoria de los óxidos de sílice, alúmina y hierro ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) debe ser mayor o igual al 70 %, transformándose esta relación como un buen indicador de la calidad del material puzolánico.

A continuación se presenta un cuadro comparativo modificado de Mejía de Gutierrez *et al*, (2006) (Tabla VIII.1) y un diagrama de fases (Figura VIII.1) que hacen referencia a los intervalos de la composición química de algunos materiales puzolánicos, como: metacaolines, humo de sílice, escoria de alto horno y cenizas volantes. En todos los casos los porcentajes totales de SiO_2 y Al_2O_3 sumándolos, varían entre el 90 y 97%, exceptuando casos como el humo de sílice que está en 96%; para el caso de las cenizas volantes, el porcentaje se hace un poco menor pero no de manera considerable, alrededor de 82% y para las escorias de alto horno alrededor del 49%.

MATERIAL	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃
Metacaolín	49,55-73,53	23,11-45,29	0,57-4,32	0,00-2,71	97,21–99,16
Humo de sílice	96,00	0,30	0,20	0,03	96,50
Escoria de alto horno	32,71	15,75	1,38	42,11	49,84
Cenizas volantes	49,80-53,36	26,40–26,99	4,94-9,30	0,00-1,40	84,7–86,09

Tabla VIII.1: Contenido porcentual de los óxidos SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO. Sumatoria según norma ASTM C618-00 (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃). Mejía de Gutierrez *et al* (2006).

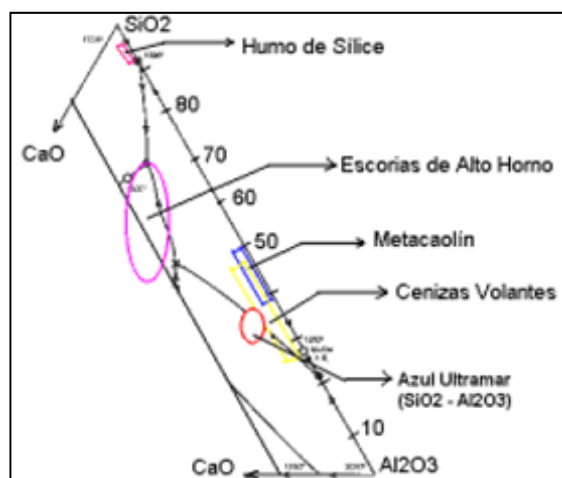


Figura VIII.1: Diagrama de fases CaO – SiO₂ – Al₂O₃. Localización de materiales puzolánicos. Mejía de Gutiérrez, *et al*, (2006).

VIII.5 Arcillas calcinadas

Unos de los materiales cementantes más estudiados y utilizados los constituyen las arcillas caoliniticas, que calcinadas a diferentes temperaturas se transforman en metacaolín, obteniendo excelentes propiedades puzolánicas debido a su composición química rica en sílice y alúmina (Al₂Si₂O₇), estructura cristalina amorfa, y alta superficie específica.

Durante el tratamiento térmico, factores como la temperatura y el tiempo de calcinación, así como la forma y tamaño de las partículas, influyen en la reactividad del metacaolín (Bich *et al.*, 2009; Gonçalves *et al.*, 2009; Samet *et al.*, 2007).

La temperatura de calcinación de cualquier tipo de arcilla influye en las propiedades puzolánicas del material resultante. La mayor eficacia se alcanza cuando el proceso de calcinación provoca la mayor deshidroxilación, dejando como resultado una estructura de arcilla colapsada y desordenada (Ramachandran, 1995).

La temperatura óptima de activación depende de la pureza del material y de los minerales constituyentes. Una importante cantidad de autores han revisado ampliamente los parámetros obtenidos en estudios anteriores, llegando a conclusiones como que la temperatura de activación óptima para el caso del caolín, el cual se encuentra en el rango de 630-800 °C (Fernández, 2009; Sabir *et al.*, 2001). Una observación importante hecha por autores como Bain, (1974), es que a temperaturas mayores de 950°C decae la actividad puzolánica del metacaolín, debido a la ruptura total de su estructura cristalina.

El mayor inconveniente del uso del metacaolín como material puzolánico se encuentra en la falta de disponibilidad de arcillas puras en caolinita, además de los altos costos de energía que exige su proceso de producción durante la calcinación. Por tales motivos se comenzó buscar formas alternativas de disminuir estas desventajas. Una de ellas es probar la respuesta de las arcillas de bajo grado de pureza en caolín y dado que a nivel local no es posible contar con materiales puzolánicos naturales, se hace necesario determinar si las arcillas de la zona de Olavarría tienen potencial puzolánico luego de someterlas a un proceso térmico similar al que se le aplica al caolín.

VIII.6 Materia disponible: arcillas rojas: Formación Cerro Negro y lutitas negras: Formación Alicia

En la zona de Olavarría – Sierras Bayas, los depósitos de arcillas abarcan extensiones importantes, más aun con la apertura de nuevas canteras, dejando material arcilloso sin uso llamado “estéril” o “destape” que es necesario extraer para poder explotar el material calcáreo. Como se mencionó anteriormente el material a estudiar para una futura explotación, corresponden a la formación Cerro Negro (Iñiguez y Zalba, 1974a) y a la facies de lutitas negra a grises que se ubican por debajo de la formación anterior (ambas litologías han sido descritas detalladamente en los capítulos III, IV, V y VI).

VIII.6.1 Elección de las muestras.

El muestreo se llevo a cabo en dos etapas. La primer consistió en el muestreo de la facies de pelítas rojas (PArm) de la Formación Cerro Negro en la cantera El Polvorín (C.P) y en la cantera C.A.S.A (C.C). Se tomaron 4 muestras de 3 kilos cada una, en intervalos de un metro, de las cuales, 2 fueron tomadas en la cantera El Polvorín y las otras 2 en la cantera C.A.S.A.

La segunda etapa radicó en el muestreo de las facies de lutitas negras (Lng) de la Formación Alicia, que se obtuvieron de los testigos obtenidos en el Yacimiento Alicia. Al igual que en la primer etapa, se tomaron dos muestras en intervalos de un metro y 3 kilos de cada una. A continuación se presenta esta información en formato de tabla para su mejor lectura (Tabla VIII.2).

Cantera/Yacimiento	N° de muestras
El Polvorín	2(Arcillita Roja)
C.A.S.A	2 (Arcillita roja)
Alicia	2 (Lutitas Negras)

Tabla VIII.2: Muestras obtenidas.

VIII.7 Procedimiento experimental.

El desarrollo metodológico consistió en efectuar pruebas de caracterización e identificación de los materiales obtenidos; para ello se obtuvieron por medio de la molienda y posterior cuarteo de los de los 3 kilogramos de muestra, 50 gramos de cada una de las 6 muestras.

Los objetivos de los distintos análisis realizados para las 6 muestras comprenden:

- 1) Identificar las arcillas químicamente mediante FRX.
- 2) Tratamiento térmico de las arcillas seleccionadas.
- 3) Identificar comportamiento mineralógico dependiendo de la temperatura a la que ha sido sometido el material por DRX.
- 4) Caracterizar las arcillas mediante análisis térmicos diferencial (DTA y TGA).
- 5) Evaluar la actividad puzolánica mecánica de las arcillas activadas (IAP)

VIII.7.1 Análisis químicos cuantitativos por fluorescencia de Rayos X (FRX)

Inicialmente se llevó a cabo un análisis químico cuantitativo por el método de fluorescencia de rayos X de canales seleccionados, en el laboratorio de geoquímica de planta Olavarría, Cementos Avellaneda S.A, con el fin de determinar los porcentajes de los principales óxidos y considerar lo establecido por la norma ASTM C618-00. Como ya se dijo anteriormente, supone que para llamar a un material puzolánico, la sumatoria de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ debe ser al menos del 70% de dichos óxidos. Como se observa en la [Tabla VIII.3](#), la sumatoria $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ para todas las muestras es mayor al 70%, lo cual habilitan a continuar con ensayos más específicos.

MATERIAL	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	PPC %
Arcilla Roja 1 (ARC1) (Cantera C.A.S.A)	70,45	14,39	4,97	0,79	89,80	5,41
Arcillita Roja 2 (Cantera C.A.S.A)	61,18	13,77	7,23	2,95	82,17	9,73
Arcillita Roja 1 (ARP1) (Cantera el Polvorín)	69,78	11,37	3,76	3,18	84,91	7,65
Arcillita Roja 2 (Cantera el Polvorín)	64,47	16,19	9,20	0,00	89,87	4,21
Lutita Negra1 (LN1) (Yacimiento Alicia)	44,66	18,8	11,72	5,82	80	7,53
Lutita Negra 2 (Yacimiento Alicia)	48	16,8	13,2	4,3	82,3	6,83

Tabla VIII.3: Porcentajes de óxidos de los materiales analizados por fluorescencia de rayos X.
Se le asignó a 3 de las muestras analizadas un código que será utilizado más adelante.

VIII.7.2 Tratamiento térmico de las arcillas.

Teniendo en cuenta los trabajos de investigaciones llevados a cabo por diversos autores (Bich *et al.*, 2009; Gonçalves *et al.*, 2009; Ramachandran, 1995) sobre la activación de arcillas y caolines, se determinó realizar un tratamiento térmico a 600 °C, 750 °C, 900 °C y 950 °C. Las muestras previamente calcinadas se molieron en un mortero Herzog durante 24 segundos. Luego fueron introducidas a una mufla durante un tiempo de calcinación establecido de 1 hora para una muestra de 85 gramos. Pasado esos 60 minutos se procedió a un enfriamiento brusco, dispersando la muestra sobre una mesada a temperatura ambiente de 22 °C.

VIII.7.3 Difracción de rayos X sobre muestras sin calcinar y calcinadas.

El objetivo principal de este análisis es reconocer diferentes especies minerales dependiendo del estado térmico de cada muestra y su respuesta mineralógica a dicho estado. Para ello se analiza por DRX la muestra tal cual se la obtiene en el campo y luego a la misma sometida a diferentes temperaturas entre los rangos 600° - 700° - 900°. Para cada una de esas temperaturas se separó una fracción, obteniendo como resultado final un total de 4 ejemplares para cada muestra, cada uno de ellos sometida a temperaturas diferentes (Tabla VIII.4).

Las muestras analizadas por este método fueron las que se describen en la [Tabla VIII.3](#). Es importante destacar que en el caso de las lutitas Negras (LNA 1) se le añadió una temperatura de 960°, haciendo un total de 5 muestras.

Los picos principales a determinar son la aparición de caolinita (conocido material puzolánico), montmorillonita e illita. Estos tres componentes son determinantes para poder obtener materiales activos. El punto de desaparición de estas especies minerales en el difractograma indica la temperatura máxima recomendada para realizar el tratamiento térmico diferencial.

Otro evento a determinar a través de esta metodología de difracción por rayos X es el reordenamiento de la estructura cristalina con formación de nuevos minerales, como la cristobalita (SiO₂), la trydimita (SiO₂), sílices amorfas y la hematita (Fe₂O₃), esta última, como un producto de la reorganización estructural de los hidróxidos de hierro presente. Se presentan a continuación de la tabla IX.4, los difractogramas obtenidos de la difracción por rayos X en fracción fina, de la facies de lutitas negras (Ln) a diferentes temperaturas, muestra inicial, 600°, 700° y 900° ([Figura VIII.2](#))

Muestra	Sub-muestra	Temp	Roca Total									Arcillas									
			Q	Feld		Carbonat		Ht	Ot	Arc	I	Cr	Interestratificados			Cl	Cr	K	Cr		
				K	Pl	Ca	D						IS								
													%	Cr	CE						
Arcilla Roja 1 C.A.S.A	Arcilla Amarilla Tal Cual	0°																			
	Arcilla Roja	600°	64	T	T	T		4	5	27	75	B	20	M	NC	5	R				
	Arcilla Roja	700°	62	T	T	T		3	5	30	75	R	20	M	NC	5	R				
	Arcilla Roja	900°	89	TF	T	T		6	5	T	Rastros de IS, Illita y Clorita										
Arcilla Roja 2 C.A.S.A	Arcilla Roja Tal Cual	0°	69	T	T	2	T	3	5	21	70	B	15	M	NC	10	R	5	B		
	Arcilla Roja	600°	63	T	T	2	T	2	5	28	80	B	15	M	NC	5	R				
	Arcilla Roja	700°	59	2	T	T	T	2	5	32	75	R	20	M	NC	5	R				
	Arcilla Roja	900°	74	T	T	T	T	3	5	18	70		25	M	NC	5	R				
Lutita negra 1 Yacimiento Alicia	Lutita Alicia Tal Cual	0°	61	T	6	T	T		5	28	65	B	5	M	NC	25		5	B		
	Lutita Alicia	600°	60	T	5	T	T		5	30	85	B	T			15	R				
	Lutita Alicia	700°	59	2	3	T	T		5	31	95	B	T			5	R				
	Lutita Alicia	900°	69	4	2	T	T		5	20	95	M				5	M				
	Lutita Alicia	950°	82	5	T	T		2	5	6	40		50	M	NC	10	R				
Lutita negra 2 Yacimiento Alicia	Lutita Alicia Tal Cual	0°	68		6				5	21	70		5			20		5	B		
	Lutita Alicia	600°	65		5		T		5	25	84	B	T			16	R				
	Lutita Alicia	700°	57	1	1	T	T		5	36	93	B	T			7	R				
	Lutita Alicia	900°	60	4	6	T			5	20	92	M				8	M				
	Lutita Alicia	950°	85	4	T			1	5	5	42		53			5	R				
Arcilla Roja 1 El Polvorín	Arcilla Roja Tal Cual	0°	64	3					5	28	75		10			10		5			
	Arcilla Roja	600°	75						5	20	70		30			T					
	Arcilla Roja	700°	82						5	13	75		25					T			
	Arcilla Roja	800°	79		T				5	16	85		15					T			
	Arcilla Roja	900°	84			T			5	11	80		20			T		T			
Arcilla Roja 2 El Polvorin	Arcilla Roja Tal Cual	0°	69			T			5	26	70		15			10		5			
	Arcilla Roja	600°	82			T			5	14	58		42			T					
	Arcilla Roja	700°	83		T	T			5	12	70		30								
	Arcilla Roja	800°	82			T			5	13	83		17					T			
	Arcilla Roja	900°	83		T	T			5	12	80		20			T		T			

Tabla VIII.4: Análisis por DRX de las 6 muestras analizadas.

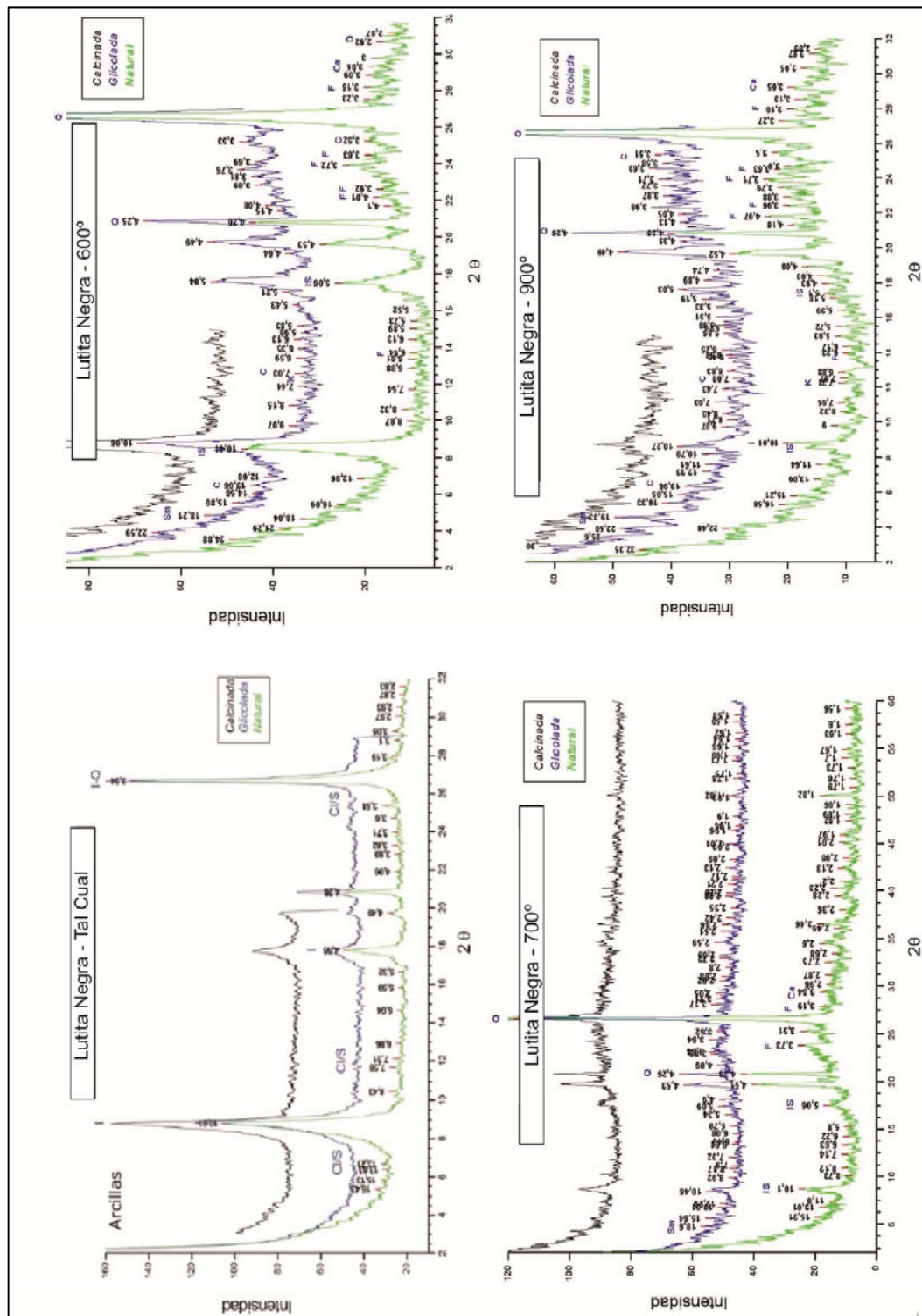


Figura VIII.2: Ejemplo del análisis de difracción rayos X para una muestra de luitia negra sometida a diferentes temperaturas.
(Muestra tal cual, 600° C, 700° C y 900° C)

Como se observa en la tabla [Tabla VIII.4](#), en todas las muestras en roca total los porcentajes de cuarzo aumentan con la temperatura y disminuyen los porcentajes de arcillas. En cambio cuando se analizan la fracción fina el comportamiento de las arcillas es diferencial según el tipo de muestra analizada. Es importante subrayar que se hizo hincapié en la Illita por ser el argilomineral predominante. Para el caso de las arcillas rojas tanto de la cantera C.A.S.A y de la cantera El Polvorín la illita se mantiene entre valores que van de los 70 a 85 % con una excepción en la arcilla roja de la cantera el Polvorín que a los 600°C tiene un porcentaje de illita de 58%. Para el caso de las Lutitas negras, el contenido de illita varía entre valores de 45 a 95 %, ubicándose los valores más altos (84% – 95%), en las temperaturas de 600°C a 800°C.

VIII.7.4 Análisis térmico diferencial (DTA y TGA).

Un análisis, térmico diferencial (DTA), se basa en el estudio de la evolución de las propiedades de una muestra o compuesto químico, cuando es sometido a un calentamiento progresivo a altas temperaturas. La termogravimetría (TGA) se basa en la medida de la variación de la masa de una muestra cuando es sometida a un programa de temperatura en una atmósfera controlada. La variación de masa puede ser por pérdida o por ganancia de masa y el análisis térmico diferencial (DTA) mide la diferencia de temperatura entre la muestra y un material de referencia (térmica, física y químicamente inerte) en función de la temperatura (o del tiempo), cuando dicha muestra se somete a un programa de temperatura en una atmósfera controlada. En principio se trata de una técnica cualitativa que permite detectar si se dan procesos endotérmicos o exotérmicos en la muestra, e indica la temperatura a la cual tiene lugar estos cambios energéticos.

Con un adecuado calibrado del equipamiento, es posible convertir el DTA en una técnica semicuantitativa para poder obtener información sobre la cantidad de calor involucrado en el proceso.

El análisis térmico diferencial engloba un conjunto de técnicas analíticas muy variadas y aplicables a distintos campos, entre sus aplicaciones se encuentran:

- Estudios de descomposición y estabilidad térmica
- Estudios composicionales
- Determinación de la pureza de un material
- Determinación de contenido de humedad, materia volátil, cenizas o carbono
- Determinación de la pureza del material

- Estudios de gasificación de muestras carbonosas
- Estudios cinéticos

Se tomó un ejemplo de cada una de las muestras obtenidas para una cantera o yacimiento específico, haciendo un total de 3 muestras: Arcilla Roja 1 Cantera C.A.S.A, Arcilla Roja 1 Cantera El Polvorín y Lutita Negra 1 Yacimiento Alicia.

Estas muestras fueron sometidas a los análisis de DTA y TGA con el IFLP - UNLP, obteniendo para cada una un grafico donde el eje de las X es la **temperatura** y el eje de las Y el **tipo de ensayo**, ya sea TGA o DTA. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

Muestra Arcilla Roja 1 (Cantera C.A.S.A) - **ARC 1**

Lectura Arcilla Roja 1 (Cantera C.A.S.A): En la **Figura VIII.3**, se observa que la curva TGA se puede observar que entre 0°C y 229°C se lleva a cabo un proceso de secado, con una posterior absorción de temperatura producto de la pérdida de agua por evaporación (curva Roja TG). Según la curva DTA (Curva azul) la mayor absorción se da a los 150 °C. Entre los 480°C y 740 °C se genera un proceso endotérmico, con pérdida de masa, debido a la ruptura de los enlaces (OH-). La mayor absorción se da a los 585 °C. A los 750°C y 1100°C se produce un proceso exotérmico, en este caso sin cambio de masa debido a un proceso de transformación vítrea; el pico se da a los 964°C.

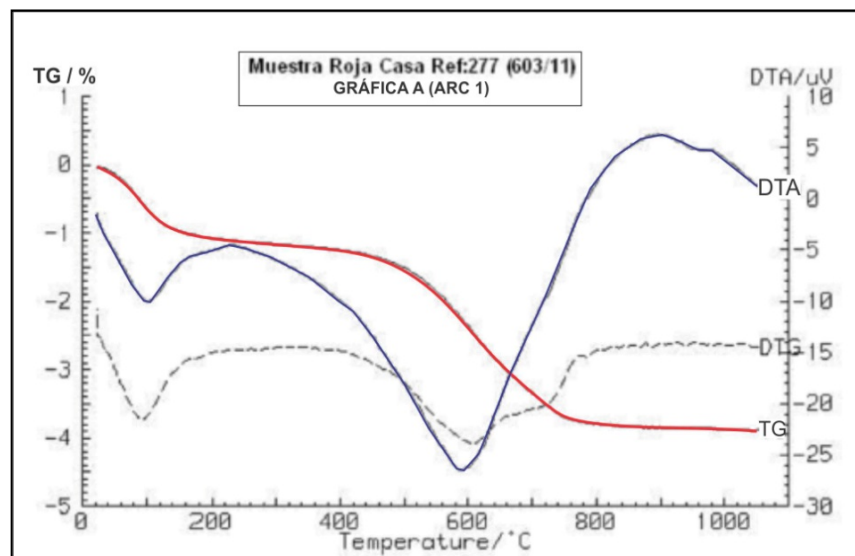


Figura VIII.3: Resultados de las curvas para los análisis termo-gravimétricos (TGA) y térmico diferencial (DTA).

Muestra Arcilla Roja 1 (Cantera el Polvorín) - ARP1

Lectura Muestra Arcilla Roja 1 El Polvorín: En la grafica B, en la curva TGA se observa entre 0 y 240 °C un proceso de secado, con absorción de temperatura producto de la pérdida de agua por evaporación. Según el gráfico de DTA la mayor absorción se da a los 92 °C. Entre los 520 y 760 °C se observa un proceso endotérmico, debido a la ruptura de los enlaces (OH-). Según la curva DTA la mayor absorción se da a los 589 °C. Entre los 760 y 900 °C se observa un proceso endotérmico, menos importante que el anterior, con una pérdida de masa muy importante, debida a la descarbonatación de la calcita, con una concentración entre 12 y 13%. Entre los 880 y 1100 °C se observa un proceso exotérmico, sin cambio de masa debido un proceso de transformación vítrea; cuyo pico se da a 925°C.

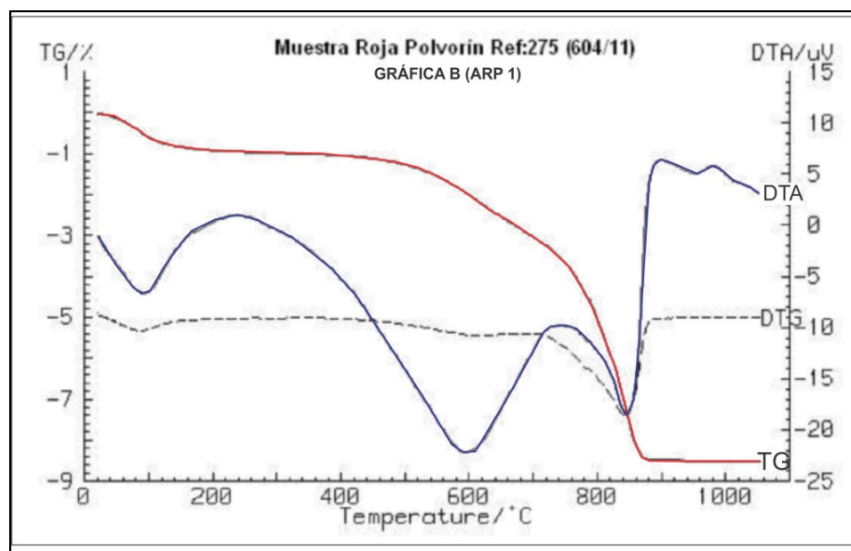


Figura VIII.4: Resultados de las curvas para los análisis termo- gravimétricos (TGA) y térmico diferencial (DTA).

Muestra Lutita Negra Alicia (LNA 1)

Lectura Lutita ALICIA: En el gráfico D, en la curva de TGA se observa entre 0 y 240 °C un proceso de secado, con absorción de temperatura producto de la pérdida de agua por evaporación. Según el gráfico de DTA la mayor absorción se da a los 86 °C. Entre los 460 y 680 °C se observa un proceso endotérmico, con pérdida de masa, debido a la ruptura de los enlaces (OH-). Según la curva DTA la mayor absorción se da a los 535 °C. Entre los 680 y 1100 °C se observa un proceso exotérmico, sin cambio de masa debido un proceso de transformación vítrea, cuyo pico se da a 910°C.

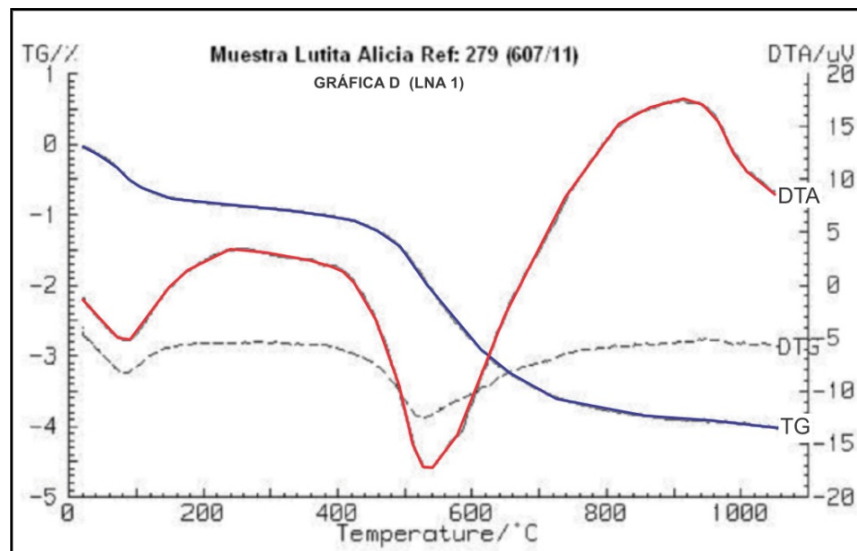


Figura VIII.5: Resultados de las curvas para los análisis termo - gravimétricos (TGA) y térmico diferencial (DTA).

Con las graficas resultantes se puede simplificar los resultados en la tabla IX .5, donde se muestran las diferentes temperaturas, obtenidas en los ensayos TGA y DTA, recomendada para los diferentes procesos físico químicos, haciendo hincapié en las temperaturas de **calcinación**, asociándolo a la ruptura de la estructura cristalina de los minerales.

Muestra	Desoxidratación	Recristalización	Calcinación
ARC 1	589°C	983°C	786°C
ARP 1	585°C	964°C	774°C
LNA 1	535°C	910°C	722°C

Tabla VIII.5: Resultados de las temperaturas optimas para obtener los diferentes procesos físico – químicos en cada una de las muestras analizadas por los análisis de TGA y DTA.

VIII.7.5 Evaluación de la actividad puzolánica mecánica de las arcillas activadas

Se determina la resistencia a la compresión a los 28 días; utilizando un reemplazo del 25% en peso de muestra en el Cemento Portland, según la norma IRAM 50000. Según las normas IRAM 1654 y 1622, se elaboraron los morteros con el CP, las muestras en estudio y la arena normalizada. Después de llenados, los moldes se estacionaron en la cámara húmeda a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta completar 22 ± 2 horas. Luego de desmoldadas las probetas fueron envueltas en un film de polietileno y colocadas en un

recipiente hermético dentro de una estufa a 38 ± 2 °C hasta completar los 28 días. A la edad de ensayo, las probetas se enfrían a 23 ± 2 °C y se ensayan a flexión y a compresión.

Interpretación de los resultados: el promedio de los resultados de resistencia de cada una de las muestras se relacionan con el del CP, a través del índice de actividad puzolánica (Ip). Para cumplir con la norma IRAM 50000, dicho índice debe ser como mínimo 75 %.

Ensayo IP

Laboratorio de ensayos: Universidad Nacional del Centro (UNICEN)

Muestra: Pelita tal cual / Pelita 750 °C / Pelita 900 °C

IP-FLEX: índice de puzolanidad con ensayo de flexión (%)

IP-COMP: índice de puzolanidad con ensayo de compresión (%)

A continuación se presentan la tabla VIII.6 con los resultados de las pruebas de resistencias en Mpa⁴ para las arcillas calcinadas a los 700 °C y a los 900°C y los resultados de IAP pasados los 28 días.

MATERIAL	R 1 día	R 7 días	R 28 días	IAP día 28	IAP -flex %	IAP-comp %
Arcilla Roja CASA 700 °C	15,0	33,6	44,2	9	70	72
Arcilla Roja CASA 900 °C	15,9	36,6	40,2	28	0	0
Arcilla Roja Polvorin 700 °C	14,0	34,5	43,6	0	73	70
Arcilla Roja Polvorin 900 °C	15,6	35,8	40,2	0	0	0
Lutita Negra Alicia 700 °C	16,1	35,6	41,3	27	81	75
Lutita Negra Alicia 900 °C	12,2	33,2	51,3	44	95	89
Arena	16,3	36,9	29			

Tabla VIII.6: Resultados de las resistencias en Mpa⁴ para las diferentes arcillas calcinadas.

Como se observa en la **Tabla VIII.6** los valores de IAP para los tres tipos de arcillas analizadas son muy variables, pasando de 0% a 44%. Sin embargo cuando se analiza el incremento de la resistencia en MPa para el día 28, se observa un incremento semejante en las diferentes arcillas, exceptuando para la lutita Negra en el día 28 que llega a valores de resistencia de 51,3 MPa, adquiriendo un incremento de la misma casi 5 veces mayor que si resistencia inicial.

Los IAP – Flexión y el IAP para la compresión, siendo el requisito mínimo de 75% en el IP de la compresión, surge que la temperatura de activación térmica más conveniente (aquella que asegure un valor muy por encima de la Norma) se encuentra restringida entre de los 700°C y los 900°C.

VIII.8. Conclusiones

Los resultados anteriores permiten obtener las siguientes conclusiones:

- Conforme a la norma ASTM C618-00 el material arcilloso en estado natural presenta porcentajes en la sumatoria de los diferentes óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) que varían entre el 80% y 89,9%, lo cual pueden ser considerados como material potencialmente puzolánico.
- El contenido de illita sugiere que la temperatura óptima en la lutita negra se encuentra entre los 600°C y 900°C, perdiéndose en un 45% el porcentaje de Illita cuando la temperatura llega a los 950°C. La cristalinidad de la Illita sugiere temperaturas óptimas de 700 a 900°C. Para las arcillas Rojas el contenido de illita sugiere que la temperatura óptima se encuentra entre los 600°C y 700°C, la cristalinidad de la illita indica las mismas temperaturas.
- Los análisis térmico diferencial (DTA y TGA) arrojaron valores de temperaturas de calcinación recomendadas para las arcillas rojas de 752°C a 774°C y para la lutita negra valores de 722 °C.
- El material que muestra mejores resultados en resistencia mecánica fueron las lutitas negras calcinadas a 900°C y pasados los 28 días, presentando valores de 51,3 MPa de resistencia y un índice de actividad puzolánica de 44%.
- Finalmente se puede concluir que las lutitas negras calcinadas entre los 700 °C y los 900°C son las que presentan favorables condiciones, según los índices de puzolánicos vigentes, para eventualmente ser utilizadas como puzolanas artificiales.

CAPÍTULO IX

IX. Discusiones y conclusiones

IX.1 Introducción

IX.2 Facies sedimentarias

IX.3 Mineralogía de las Arcillas

IX.4 Análisis petrográfico

IX.5 Análisis geoquímico

IX.6 Análisis de procedencia

IX.7 Análisis palinológico

IX.8 Modelo depositacional y estructural de Subsuelo

IX.9 Aproximación a un marco estratigráfico secuencial

IX.10 Nueva propuesta Estratigráfica

IX.11 Escenario Geodinámico

IX. (Discusión y Conclusiones)

IX.1 Introducción

La realización de los 7 capítulos anteriores, cada uno avocado a una disciplina específica y destinados a conocer en profundidad los depósitos ediacaranos-paleozoicos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas, permitió plantear distintas discusiones y a través de ellas poder obtener interpretaciones que ayudan a conocer su génesis y posterior historia geológica.

La realización de este trabajo de tesis fue impulsado por la identificación en subsuelo, de un paquete sedimentario prácticamente desconocido, conformado por lutitas negras a grises y limolitas grises de más de 150 metros de espesor, dispuestos estratigráficamente por encima de las facies de margas y por debajo de las facies heterolíticas de la Formación Cerro Negro (Iñiguez y Zalba, 1974).

Este paquete sedimentario de lutitas negras a grises, había sido mencionado por primera y única vez, por Cuomo *et al.* (1983), en el cual se hace una breve referencia a las características texturales y mineralógicas de muestras de pozo, con una asignación estratigráfica al Grupo Sierras Bayas.

Con todo y antes de presentar las interpretaciones estratigráficas, paleoambientales y de la evolución tecto-sedimentaria, se señalan en forma puntual y a modo de conclusiones, todos aquellos nuevos aportes que han surgido de cada uno de los capítulos anteriores.

IX.2 – Facies sedimentarias

Sobre la base de los perfiles relevados, se reconocieron para los depósitos suprayacentes a la caliza de la Formación Loma Negra, un total de 7 facies sedimentarias agrupadas en tres asociaciones de facies.

IX.2.1 En la asociación de facies I se han determinado dos facies sedimentarias que apoyan sobre una paleosuperficie cárstica de relieve irregular de carácter erosivo: a) facies de Margas masivas/laminadas y b) facies de Pelitas-Arcilitas rojas masivas. Esta asociación está marcando la procedencia mixta de los minerales que la constituyen denotando un aporte detrítico del continente y una precipitación carbonática propia del ambiente marino. Se interpreta como depositada en condiciones submareales, en un mar poco profundo, restringido y tranquilo.

IX.2.2 En la asociación de facies II se han reconocido, únicamente en subsuelo, tres facies sedimentarias: c) facies de Lutitas negras/grises, d) facies de Pelitas-Limolitas grises a blanquecinas masivas y e) facies de Heterolíticas con estratificación ondulosa y/o lenticular. Los estratos lutíticos y

limolíticos en conjunto conforman una típica estratificación mixta de tipo ondulosa a lentiforme, las lentes de limolitas representan migración de óndulas de tipo tracción - decantación. Se destacan estructuras sedimentarias como laminación entrecruzada sigmoidal con espesores que no superan los 5 mm y la laminación convoluta. Esta asociación se puede interpretar como depositada en una plataforma abierta, por debajo del nivel de base de olas, en condiciones submareales.

IX.2.3 En la asociación de facies III se han determinado cuatro facies sedimentarias: a) facies de Areniscas finas a medias masivas, f) facies de Areniscas finas a medianas con laminación entrecruzada, g) facies de Pelitas-Arcilitas rojas masivas y h) facies de Heterolíticas con estratificación flaser. Es importante señalar la presencia de estructuras sedimentarias como laminación entrecruzada, calcos de hoyos de flujo, calcos de marcas de escurrimiento y eventualmente grietas de desecación, manifestando ambientes de aguas someras y con eventuales periodos de exposición subaérea; esta asociación se interpreta como depositada en un ambiente mariano somero, bajo condiciones submareales a intermareales en un ambiente de plataforma.

IX.3 – Mineralogía de las Arcillas.

Los análisis de difracción de Rayos X semicuantitativos en roca total, acompañados por MEB, permitieron indicar que todas las secciones estudiadas se caracterizan por presentar elevadas proporciones de cuarzo, escasas plagioclasas, variable cantidad de calcita, y dominio en la fracción fina de los argilominerales de illita y clorita.

IX.3.1. En la base de los perfiles, la Facies de margas (Mm – MI) tanto la calcita como el cuarzo son los minerales más abundantes, los cuales se encuentran en cantidades similares. Las arcillas se hallan en proporciones que no superan el 15%, y dentro de los argilominerales más comunes se encuentra la illita, y en menores proporciones (de hasta 10%) interestratificados de IS. (Figura IV.5.1 y Tabla 5.1). En esta facies no se identifica clorita.

IX.3.2. En la parte media de los perfiles, donde predominan las facies de lutitas negras (Lng), el cuarzo es el mineral más abundante en la roca total, acompañado en menores proporciones por plagioclasas (5 – 15%) y en algunos casos por feldespato K subordinado (menor al 5%). Dentro de la fracción fina, la illita y la clorita son los dos argilominerales preponderantes, presentes en una proporción de 80:20, aunque puede variar hasta 60:40 en niveles intermedios (Capítulo IV, Figura 4.1, Tabla 4.A).

IX.3.3. En la parte superior de los perfiles donde predominan las facies Heterolíticas (Hf) y las facies de arcilitas rojas (PArm), se observa en roca total un fuerte predominio del cuarzo (85%) con una disminución en los porcentajes de plagioclasas y en el material arcilloso. Para la fracción fina hay un

claro predominio de la illita con porcentajes de hasta 95%, disminuyendo considerablemente el de clorita (no supera el 15% - 20%). En los niveles superiores de algunos de los perfiles analizados (Capítulo IV, [Figura IV.3.1](#) y [Tabla 3.A](#), Perfil El Polvorín), se hacen presentes en las facies de PArm, interestratificados de IS en proporciones que varían entre el 15 % - 10 %, evidenciando una leve meteorización probablemente de origen meteórico de dichos niveles.

IX.3.4. Los interestratificados de CS se hacen presentes en forma discontinua y en proporciones que no llegan a superar el 10 %, se los puede vincular en el techo de las facies margosa (Mm – MI), lo cual es de esperar, ya que en sus primeros metros evidencia una fuerte meteorización superficial.

IX.3.5. La illita se encuentra en todas las muestras estudiadas, es el argilomineral más abundante y aparece junto a clorita en el tramo medio, donde esta última tiene altas concentraciones. Dada la presencia de estos argilominerales se han podido llevar a cabo diferentes análisis relacionados con los índices de cristalinidad, tanto de la illita como de la clorita y establecer relaciones entre ellos.

IX.3.6. De los índices de cristalinidad de illita (IC) e índice de Esquevin (IE) se obtuvo que, para las facies de arcillitas rojas (PArm) los valores caen en los campos tanto de la diagénesis como de la anquizona. Diferente es la situación para las facies de lutitas negras/grises (Lng), con una distribución más uniforme, ya que el 100% de las muestras se encuentran en el campo de la anquizona – metamorfismo ([Figura IV.4.1](#)), esto sugiere que las arcillas presentes en las lutitas negras/grises tendrían un origen **detrítico** en comparación con las illitas presentes en las arcillitas rojas que pueden tener un origen compartido, tanto **detrítico** como **autigénico**.

IX.3.7. Del análisis del índice de cristalinidad de la clorita (ChC) se observa que la facies de Lutitas negras/grises (Lng), muestra picos de la clorita que se ubican mayormente en el campo del metamorfismo y en menor medida en el campo del anquimetamorfismo. Diferente es en el caso de la facies de arcillitas rojas (PArm) donde su distribución es más variable entre los campos del metamorfismo, el anquimetamorfismo y la diagénesis (Capítulo IV, [Figura IV.6.2](#)). Al igual que la interpretación a la que se llegó en el punto anterior (VII.2.5), se sugiere que las lutitas negras/grises poseen un carácter mayormente **detrítico** y las arcillitas rojas, debido a su mezcla de poblaciones de distintos índices presentan un carácter tanto **detrítico** como **autigénico**.

IX.4 – Análisis petrográfico

Se analizaron 51 láminas delgadas, de las cuales 29 corresponden a las facies silicoclásticas más “gruesas” correspondientes a texturas que van entre limo a arena, permitiendo una buena observación de todos los componentes.

IX.4.1. Los componentes principales presentes en las areniscas finas a medianas, son en orden de abundancia, cuarzo monocristalino, plagioclasas, biotitas y arcillas; siendo los componentes minoritarios clastos líticos y minerales opacos.

IX.4.2. La presencia de **plagioclasa** de carácter ácida a intermedia, constituye una clara evidencia del cambio en el aporte detrítico ya que este mineral se encuentra ausentes en la parte media y superior del Grupo Sierras Bayas (Figura V.8).

IX.4.3. Algo similar a lo que sucede con las plagioclasas, es el caso de las **biotitas**, mineral que no se registra en la parte media a superior del Grupo Sierras Bayas, y se encuentra frecuentemente en las unidades estudiadas aquí, la presencia de la misma también marca un cambio en la procedencia del material detrítico (Capítulo V, Figura V.9).

IX.4.4. El cemento predominante es el carbonático de tipo esparítico; en menor proporción se encuentra el cemento argílico y ferruginoso, óxidos de manganeso, ftanita y macrocuarzo (Capítulo V, Figuras V.13 y VI.15).

IX.4.5. Se reconocen microestructuras sedimentarias como ser: laminación paralela y deformación sinsedimentaria.

IX.4.6. Se reconocieron rasgos de deformación como la flexura de algunos componentes lábiles tales como las micas (biotitas), de disolución de bordes de granos (cuarzo) y de compactación química como el desarrollo de estilolitas.

IX.4.7. Tomando a la clasificación de Folk *et al.* (1970) y de Dott *et al.* (1964), modificada por Pettijhon *et al.* (1972), las areniscas finas a medianas caen en el campo de las subfeldarenitas y arenitas **subfeldespática** respectivamente; concluyendo en la misma denominación (Capítulo V, Figura V.16).

IX.4.8. Con los datos obtenidos se procedió a ubicar a las psamitas en los diagramas triangulares de procedencia de Dickinson *et al.* (1983) y se definió una única población ubicada en el campo de **interior cratónico**. Los resultados para el diagrama Qt-F-L, son los mismos que para el diagrama Qm-F-Lt, debido a la ausencia total de cuarzo policristalino (Capítulo V, Figura V.17).

IX.4.9. Las pelitas y margas están conformadas por abundante micrita, argilominerales y material no distinguible bajo microscopio petrográfico en secciones delgadas, a excepción de los cristaloclastos de cuarzo de tamaño limo.

IX.4.10 En la base de los perfiles (pasaje entre Formación Loma Negra y las unidades suprayacentes) se observan brechas calcáreas, fangolitas y bochones de ftanita, de las cuales se hizo una breve descripción óptica en la cual se destacan cristales de calcita recrystalizada, chert y litoclastos sedimentarios de lutitas.

IX.5 – Análisis geoquímico

De los análisis geoquímicos, de los materiales de textura finas (facies de Lng y facies de PArm) se desprenden las siguientes interpretaciones.

IX.5.1 La relación de algunos elementos mayoritarios y trazas expresados en los diferentes gráficos, Capítulo VI, Figuras VI.6.1, VI.6.4 y VI.6.5, han permitido postular posibles áreas de procedencia. Para las facies de lutitas negras/grises (Lng), por la ubicación de las muestras en los diferentes gráficos se infiere un área de procedencia de carácter de arco de isla continental, para el caso de las facies de arcilitas rojas (PArm), donde la distribución de las muestras es más dispersa, postulándose una posible área de procedencia tanto de arco de isla continental como de arco continental marginal. Indistintamente, todas las muestras analizadas caen en un **ambiente de Arco**, lo significativo es que la procedencia relacionada a un margen activo de estas asociaciones de facies, se diferencia sustancialmente de la procedencia cratónica, de margen pasivo, que traían las asociaciones de facies del Grupo Sierras Bayas (Zimmerman *et al.*, 2011), lo cual deja en evidencia un claro cambio en la procedencia por arriba y por debajo de la superficie Barker, vista también en petrografía.

IX.5.2 Los resultados obtenidos en contenido de tierras raras, muestra que las rocas analizadas tienen un patrón afín al PPAS, asemejándose a los reportados a nivel global para lutitas de sucesiones similares y de edades equivalentes (Capítulo VI, Figura. VI.6.6).

IX.5.3 Una de las conclusiones más interesantes es que las anomalías de Ce son negativas y se ha demostrado que estas rocas no presentan modificaciones postdeposicionales importantes en las mismas (todos los valores de La/Sm son mayores a 0,35), razón por la cual permiten sugerir condiciones de buena circulación y oxigenación del agua de mar al momento de su depositación, si a esto le sumamos que la preservación de la materia orgánica es muy baja ($COT < 0,31\%$ y $> 0,02\%$) se podría sugerir, que la escasa preservación de ésta se encuentra en relación a la interacción de la misma con un ambiente oxidante, teniendo presente que la atmósfera en el Neoproterozoico contaba con porcentajes de oxígeno mucho menores que en la actualidad, pero si se tiene en cuenta que las lutitas negras han soportado altos grados de diagénesis y que aún conservan rasgos característicos de ambientes anóxicos como ser el color ósculo, presencia de pirita, abundancia en palinomorfos y dendritas de manganeso para las facies más rojizas, sumado a las interpretaciones ambientales, se

podría pensar que más allá de la escasa preservación de la materia orgánica y de las anomalías negativas de *Ce*, la asociación de facies II ha sido depositada en un ambiente anóxico.

Diversos autores señalan que este período representa la transición entre la dominancia de mares euxínicos para dar paso a mares oxigenados (Holland, 2006; Canfield *et al.*, 2008). Autores como Calver, 2000; Gaucher, 2000; Shen *et al.*, 2005, argumentan la presencia de mares geoquímicamente estratificados, con fondos anóxicos y superficies oxigenadas que generan una zona fótica, permitiendo producir fotosíntesis a los primeros metazoos. Teniendo en cuenta que las anomalías de *Ce* pueden no reflejar la realidad debido a la presencia de anomalías de *La* que pueden interferir en los resultados e interpretaciones de las mismas. En este sentido el enriquecimiento de *La* registrado en un grupo de muestras sumado a las anomalías positivas de *Eu* y al enriquecimiento en *REE*, podría evidenciar la circulación de un fluido caliente que afectaría a la sucesión de manera discontinua. Sin embargo, no se ha registrado ninguna evidencia de procesos hidrotermales, que sí han sido reconocidos en el Grupo Sierras Bayas, en otras localidades de Sierras Bayas – Olavarría (Gómez Peral *et al.*, 2012; 2014) y en el área de Barker (Martínez *et al.*, 2010; 2013).

Finalmente, y luego de introducir la discusión anterior, solo en aquellos casos en los que se pudo confirmar la presencia de anomalías negativas de *Ce*, se podría indicar que el ambiente en el que se formaron sería bajo condiciones de oxigenación normal sin evidencias de un mar estratificado.

IX.6 - Análisis de Procedencia

El cúmulo de resultados obtenidos mediante los análisis de difracción de rayos X, de petrografía y geoquímicos, han permitido realizar una serie de interpretaciones sobre la procedencia de las sedimentitas aquí estudiadas y su relación con el Grupo Sierras Bayas (GSB).

Analizando el material pelítico, se observa que los índices de cristalinidad de las arcillas illíticas y cloríticas indican que un alto porcentaje de ellas son de origen detrítico, a esto se le suma que la geoquímica de los elementos minoritarios y de tierras raras, ubican a las muestras en un ambiente de arco. Si se compara a estos resultados con los obtenidos por Zimmermann *et al.*, 2011 para el GSB, se puede destacar una clara diferencia en el área de aporte entre estas dos sucesiones sedimentarias (Figura IX.1), ya que las muestras del GSB se corresponden con un ambiente de **Interior cratónico**, mientras que las sedimentitas analizadas en este trabajo, se ubican en el campo relacionado a un ambiente de **arco**.

En contraposición a lo planteado en el párrafo anterior, los triángulos de procedencia de Dickinson *et al.*, 1983, nos indican que las areniscas subarcóicas de la asociación de facies III

proviene de un área cratónica, al igual que las areniscas súper maduras de la Formación Cerro Largo, del GSB (Poiré e Iñiguez, 1984).

Otro dato interesante que se obtuvo de los análisis petrográficos y de la difracción de Rayos X en roca total, es la presencia de minerales de plagioclasas y biotitas, que no han sido registradas a lo largo de toda la sucesión que integra al GSB.

Se puede concluir que la procedencia de las unidades estudiadas podría derivar de dos ambientes marcadamente diferentes, por un lado los materiales más finos tendrían una afinidad de arco volcánico mientras que las areniscas subarcóicas se asocian con una proveniencia desde un cratón estable, asimilable al de las rocas de la sección inferior del GSB.

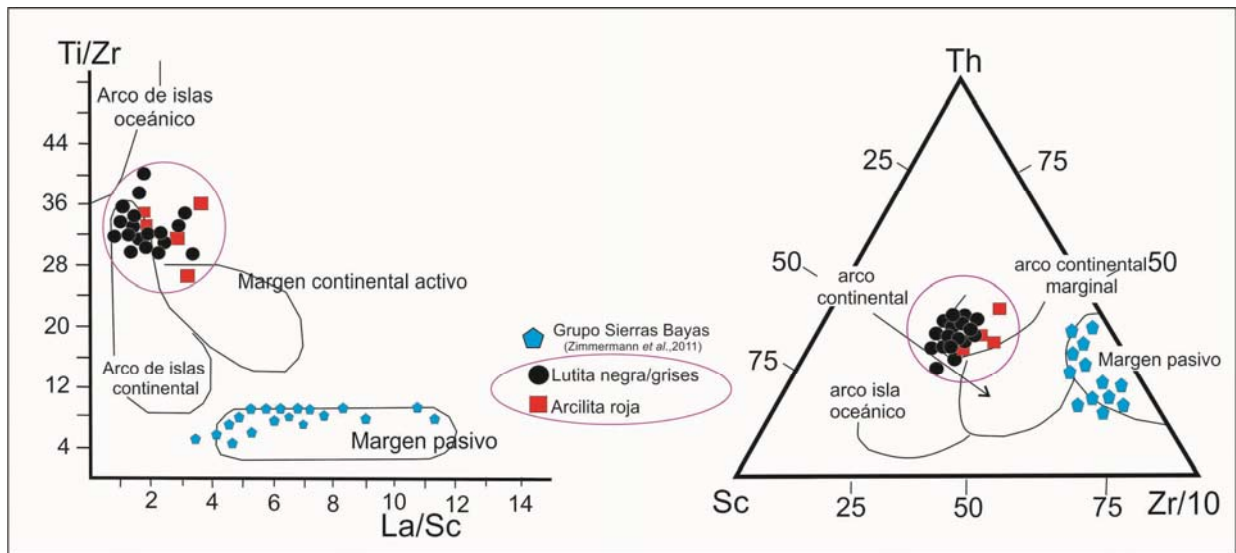


Figura IX.1: Comparación entre GSB (Zimmermann *et al.*, 2011) y las facies de Arcilita roja y Lutitas negras/grises. a) Diagrama de determinación de ambiente tectónico por la relación Ti/Zr vs. La/Sc b) Grafico trivalente Th-Sc-Zr/10 (Bathia y Crook, 1986).

IX.7 – Análisis Palinológico

Considerando el periodo de tiempo, en el que se estima, se sitúan las unidades litológicas que involucran este trabajo (Ediacarano – Cámbrico), la falta de material fósil hace de la palinología una herramienta fundamental para futuras interpretaciones paleambientales y cronoestratigráficas.

IX.7.1 Los ejemplares recuperados en las 19 maceraciones palinológicas son: *Leiosphaeridia minutissima* y de *Leiosphaeridia* de geometría simple y diámetros que no superan los 200 μm .

IX.7.2. La baja diversidad y dominancia de *Leiosphaeridia*, permite asignar a la asociación de acritarcas a “Ediacaran Leiosphere palinoflora de Grey *et al.*, 2003” equivalente a la asociación

denominada “Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora” o LELP (Capítulo VII, **Figura VII.2**) por Moczydlowska-Vidal, (1997); Knoll, (2000).

Es importante destacar lo dicho por Grey (2005) y Zhou *et al.* (2007) los cuales indican que la **ausencia de acanthomorfos complejos** y la disminución en la diversidad se dan en un periodo de tiempo que va de los **560 ma a los 540 ma**, marcando la etapa final del periodo ediacárico, periodo en el cual se propone enmarcar a las sucesiones sedimentarias estudiadas en este trabajo.

IX.8 Modelo depositacional y estructural de Subsuelo

La información de subsuelo consiste en testigos corona, registros escritos de sondeos antiguos realizados en campañas pasadas (Dr. Mario Iñiguez en los años '80 y '81), cutting de campañas llevadas a cabo por el método de aire reversa en los años 2008 y 2009, relevamientos topográficos de detalle y relevamientos geofísicos, han sido utilizados para tener una idea de los paleoambientes y completar la realización de un modelo de subsuelo, que involucra no solo la estratigrafía sino también a la tectónica.

El modelo tecto-sedimentario de subsuelo propuesto parte de un modelo de depositación previo (Poiré, 1987, 1993) en el cual se realizó un análisis paleoambiental en orden secuencial ascendente, desde la zona de alteración del basamento hasta la discordancia con la Formación Cerro Negro. Secuencias de depositación que se describen brevemente a continuación.

Primera secuencia de depositación (I): comienza sobre el basamento la depositación de los sedimentos de la Asociación de facies Cuarzo-Arcósicas, se inicia el primer ciclo sedimentario, una transgresión del mar sobre el basamento cristalino.

En determinado momento se producen cambios ambientales que hacen que la secuencia pase de ser silicoclásticas a esencialmente carbonática, con el desarrollo de grandes estromatolitos, que evidencian condiciones tropicales a subtropicales con aguas cálidas y límpidas (Poiré, 1987 a y b). Este ciclo sedimentario se interrumpió por la entrada súbita del mar. Esta primera secuencia de depositación está representada por la Formación Villa Mónica.

Segunda secuencia de depositación (II): se inicia con la presencia de facies de fangolitas y brechas de fangalita de la Asociación de facies pelitas y psamitas. Inmediatamente por encima se describen sedimentitas con presencia de mica glauconítica, la cual es un buen indicador paleoambiental, ya que se forma en un mar abierto de plataforma estable. De igual modo su presencia evidencia de acuerdo al ciclo geoquímico del Fe en costas, un evento transgresivo. Posteriormente esta zona fango-arenosa submareal con glauconita pasa regresivamente a una zona menos profunda

areno-fangosa. Esta segunda secuencia de depositación está representada por las formaciones Colombo, Cerro Largo y Olavarría.

Tercera secuencia de depositación (III): esta secuencia está conformada casi en su totalidad por material calcáreo (Formación Loma Negra), favorecido por la instalación de factores fisicoquímicos apropiados y por la formación de una barrera que haya impedido la entrada de material terrígeno a la cuenca, indicando un ambiente de albufera, permitiendo la generación de una transgresión suave. Esta secuencia finaliza, en un pasaje cárstico que se generó por un brusco descenso del nivel del mar y una posterior exposición subaérea (Barrio *et al.*, 1991 y Poiré 2008).

Con todo lo expuesto anteriormente, a este modelo se le suma la asociación de facies I, la asociación de facies II y la asociación de facies III, más las estructuras tectónicas interpretadas por la información de subsuelo. Con la integración de toda la información, se propone a continuación un modelo tecto-sedimentario de subsuelo, **que se continúa** con la metodología de secuencias de depositación empleada por Poiré, 1983, 1993. a partir de la tercera secuencia de depositación, discordancia erosiva mediante (Superficie Barker,) con el siguiente arreglo.

Cuarta secuencia de depositación (IV): Integrada por la asociación de facies I, de espesor variable (4 a los 25 metros) debido a que se ubica sobre un relieve ondulado de origen cárstico y está formada por las facies PArm – y Mm. Esta facies empieza a enriquecerse en material silicoclástico representado por las facies de PArm. La abundancia de marga depende del mayor o menor aporte clástico, por lo tanto la depositación de las margas y pelitas sugiere modificaciones en el aporte detrítico. Esta asociación se puede interpretar como depositada bajo condiciones submareales a intermareales en un ambiente de plataforma, quizás restringida, bajo condiciones de marea. Por contacto neto pasa a la asociación de facies II o quinta secuencia depositacional.

Quinta secuencia de depositación (V): Esta secuencia depositacional, tiene un espesor que máximo de 150 metros y está formada por las facies Lng – PLm – Ho – HI integrando la asociación de facies II, netamente silicoclástica. Internamente no se observa un patrón general en arreglo de las facies, si se puede destacar que los paquetes de Lng son habitualmente más potente en la base los perfiles disminuyendo en espesor hacia el tope, las facies de heterolíticas se concentran en la parte media a superior y las facies de limos masivos se presentan a lo largo de todo el perfil. Esta asociación se puede interpretar como depositada bajo condiciones submareales, con velocidad de sedimentación

lenta donde alternan frecuentes pulsos tractivos de poco espesor (PLm). Esta asociación de facies (II) solo se reconoce en subsuelo.

Sexta secuencia de depositación (VI): En contacto neto sobre la secuencia de depositación V, la sexta secuencia está integrada por la asociación de facies III (facies *Am* - *Alx* - *PArm* - *Hf*) con espesores máximos descriptos de 75 metros. Esta asociación de facies III, tiene una alta participación de eventos tractivos alternando con algunas pausas de fango. Las facies de arenas finas a medianas masivas sugieren episodios tractivos posiblemente relacionados a desbordes fluviales. Esta asociación se puede interpretar como depositada en un ambiente de plataforma bajo condiciones mareales (submareales a intermareales) evidenciando un ascenso del nivel del mar, con respecto a las asociaciones IV y V. Esta asociación se puede observar tanto, en los testigos de perforación obtenidos en los diferentes yacimientos como en frentes de cantera.

Con las seis secuencias depositacionales descriptas, se propone una evolución tectónica sencilla, controladas por elementos regionales previos, en los que se hace referencia a largas y amplias zonas de cizalla de rumbo general noreste-sudoeste, que afectan a las rocas del basamento (Dalla Salda, 1982).

Asumiendo una tectónica de fallas verticales a subverticales para los bloques delimitados entre las grandes fallas de transcurencias, sin dejar de lado que está cubierta Neoproterozoica se encuentra sin grandes rasgos de deformación ni metamorfismo, se propone un modelo tecto-sedimentario de subsuelo para la zona austral y media de las Sierras Bayas. Esta interpretación está acompañada de una imagen satelital de cada yacimiento ([Figura IX.2](#) Yacimiento Alicia y [Figura IX.3](#) Yacimiento La Cabañita) con la ubicación de los sondeos y las trazas de los perfiles que se esquematizan en el modelo propuesto, ejemplificando de manera gráfica lo descripto en los párrafos siguientes ([Figuras IX.4 a, b, c y d](#) y [IX.5 a, b, c y d](#)).

Primera estructuralización:

Se parte de una sedimentación normal de las secuencias sedimentarias I, II, III (Grupo Sierras Bayas), posterior discordancia erosiva, se depositan las secuencias IV y V, que mediante fallamientos verticales a subverticales, que se pueden interpretar como reactivaciones de discontinuidades previas del basamento, que afecta a toda la cobertura neoproterozoica dejando expuesto un relieve con marcadas irregularidades topográficas, lo cual favorece a los gentes erosivos ([Figura IX.4.a, b](#) para el yacimiento Alicia y [Figura IX.5.a, b](#) para el yacimiento La Cabañita).

El rechazo de las fallas verticales a subverticales se estima que ha sido de por lo menos unos 80 metros (se tomó como referencia el techo de la Formación Olavarría, como la unidad con base neta y techo plano a los cuales todos los sondeos utilizados han llegado).

Período de erosión y depositación:

De manera tal que el relieve que integra la cubierta sedimentaria, por tectónica, tomó una configuración de crestas y valles rectos (Figura IX.4.b, Figura IX.5.b), que por acción de agentes de meteorización se generó un paleorelieve que “niveló” a las secuencias deposicionales III (Formación Loma Negra), IV (facies de margas y pelitas rojas) e inclusive a la secuencia V (facies de lutitas negras/grises).

Posteriormente a esta “nivelación” y mediante una paraconformidad (sin superficie de erosión visible) se deposita la asociación de facies III (secuencia depositacional VI), lo cual hace que en determinadas zonas, esta asociación de facies (I), quede apoyada directamente sobre las facies margosas (asociación de facies I), sin presencia de las facies de lutitas negras/grises (asociación de facies II) o directamente sobre estas, cuando están presentes (Figura IX.4.c, figura IX.5.c).

Segunda estructuralización y posterior erosión

Finalmente una reactivación de las fallas pre-existentes, reacomoda toda la secuencia nuevamente, dejando al mismo nivel la asociación de facies III (secuencia depositacional VI), con la asociación de facies II (secuencia depositacional V) y en algunos casos “nivelando” a la Formación Loma Negra (secuencia depositacional III) con la asociación de facies II (secuencia depositacional V) (Figura IX.4.d, figura IX.5.d).

Por último los agentes erosivos actúan nuevamente sobre la cubierta sedimentaria, lo cual provocó que la secuencia depositacional VI en determinadas zonas de la cuenca no esté representada.

Sedimentología y estratigrafía de los depósitos ediacaranos-paleozoicos, suprayacentes a las calizas del precámbrico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, Argentina.

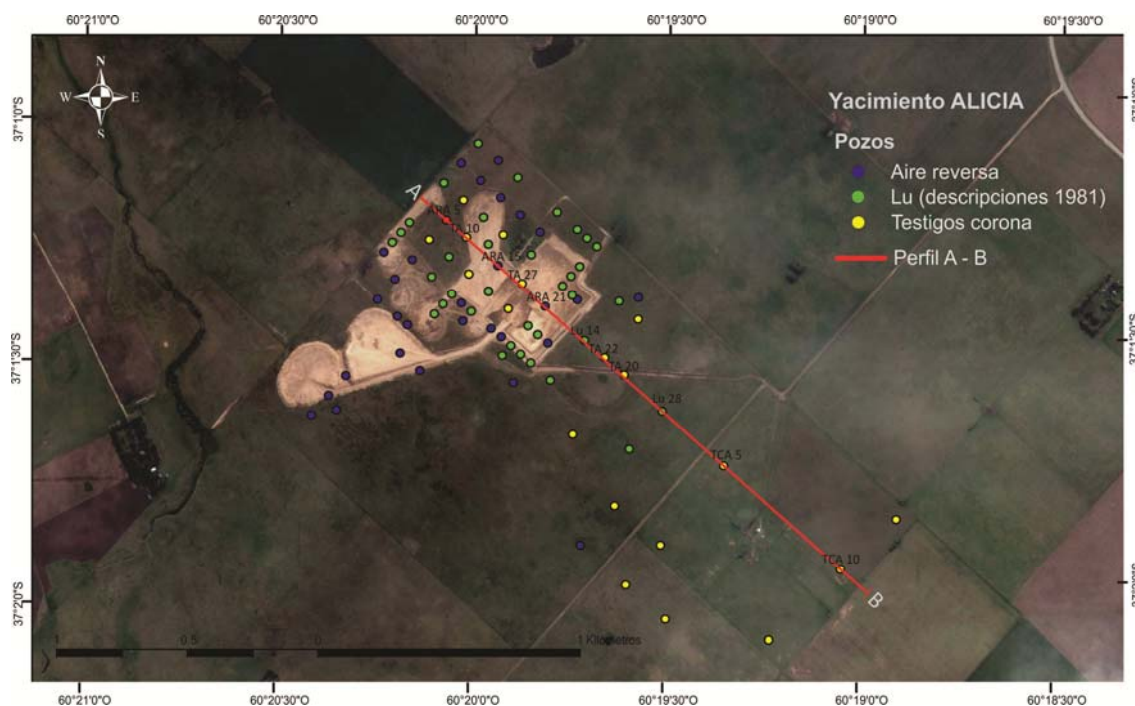


Figura IX.2: Imagen satelital correspondiente al Yacimiento Alicia, con la ubicación de pozos y la traza del perfil A-B.



Figura IX.3: Imagen satelital correspondiente al Yacimiento La Cabañita, con la ubicación de pozos y la traza del perfil C-D.

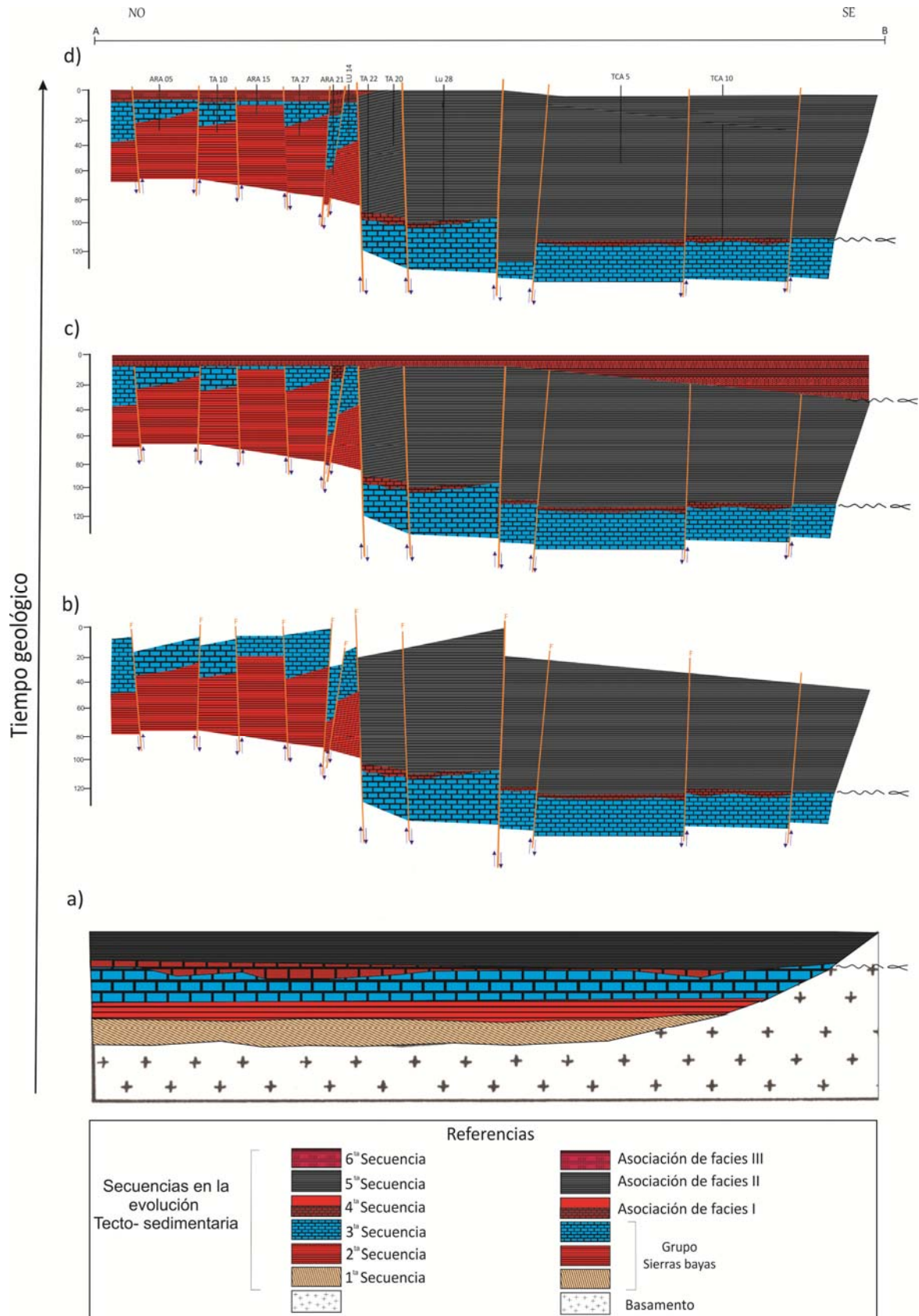


Figura IX.4: Modelo tecto-sedimentario de la cobertura Neoproterozoica, para el Yacimiento Alicia

Sedimentología y estratigrafía de los depósitos ediacaranos-paleozoicos, suprayacentes a las calizas del precámbrico del Sistema de Tandilia, provincia de Buenos Aires, Argentina.

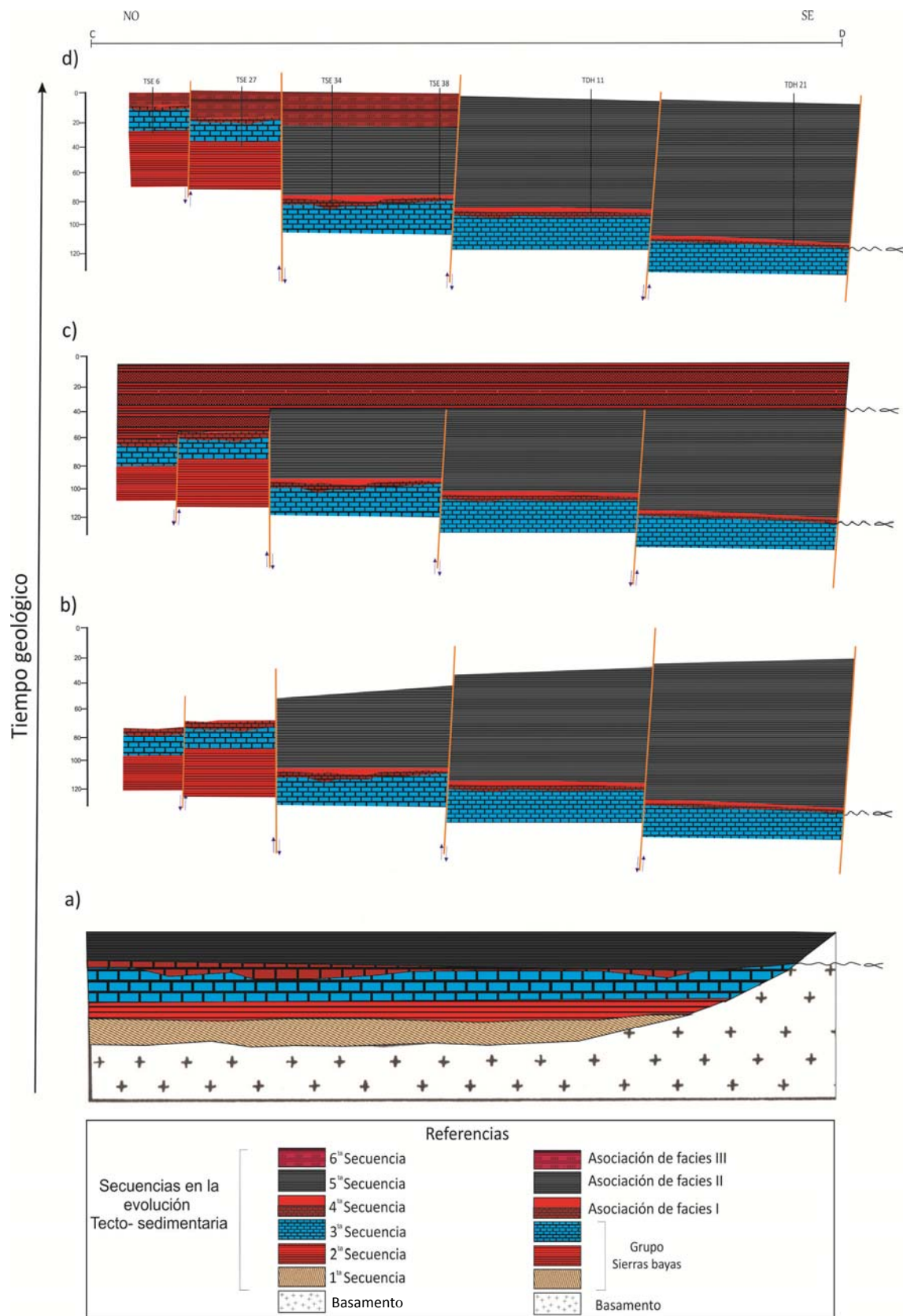


Figura IX.5: Modelo tecto-sedimentario de la cobertura Neoproterozoica, para el Yacimiento La Cabañita

IX.9 Aproximación a un marco estratigráfico secuencial

IX.9.1 Introducción

Actualmente la sedimentología clásica no llega a cubrir todos los aspectos que intervienen en el arreglo sedimentológico de una cuenca sedimentaria. La estratigrafía secuencial se ha convertido en los últimos años en una herramienta revolucionaria en el campo de la geología sedimentaria, ya que involucra conceptos que han dado lugar a un cambio fundamental en el pensamiento geológico, y en particular en los estudios sedimentológicos (análisis de facies y estratigráficos).

La estratigrafía secuencial es comúnmente considerada como un tipo de estratigrafía, que se centra en los cambios a gran escala de las tendencias de sedimentación y su correlación a través de una cuenca. Sin embargo no se debe descuidar que, los estudios a menor escala, hacen hincapié en los procesos de facies que se forman dentro de los límites de sistemas depositacionales individuales, particularmente en respuesta a cambios en el nivel de base, utilizados para resolver y explicar problemas de ciclicidad, asociaciones y relaciones entre facies sedimentarias (Catuneanu, 2006).

Uno de los puntos más significativos de la estratigrafía secuencial, consiste en que sea aplicable dentro de un marco temporal, a pesar de los cambios faciales comunes en cualquier cuenca sedimentaria. Esto genera un componente de previsibilidad de la arquitectura de las facies en zonas aun inexploradas, factor muy importante, para las investigaciones orientadas a la industria petrolera (Steckler *et al.*, 1993; Catuneanu, 2006).

Resumiendo, esta metodología se basa en identificar estratos sedimentarios concordantes, limitados por superficies de discontinuidad. Los modelos desarrollados asumen, que los factores responsables de estas discontinuidades son los cambios en el nivel de base (variaciones eustáticas), la tectónica y las variaciones en la tasa de sedimentación (Vail *et al.*, 1977; Pitman, 1978; Watts, 1982; Summerhayes, 1986; Galloway, 1989; Tirsgaard, 1996; Embry, 2001a).

La correcta identificación de los diferentes tipos de superficies estratigráficas, como los tipos de discontinuidades o límites de secuencia, son claves para el éxito de la estratigrafía secuencial como herramienta predictiva.

Los principios de un marco estratigráfico secuencial cuenta con tres tipos diferentes de unidades: Cortejos sedimentarios (*System Track*), Secuencias y Parasecuencias. Cada tipo de unidad se define por las relaciones específicas de facies, patrones de depositación y superficies delimitadoras, siendo independiente de las escalas temporales y espaciales, y del mecanismo de formación.

Una "secuencia" se define como una sucesión de estratos relacionados genéticamente delimitada por discontinuidades (Sloss *et al.*, 1949; Sloss, 1963; Mitchum, 1977). Se reconocen dos

tipos de límites de secuencia (Vail y Todd, 1981), de tipo 1, donde la sedimentación se restringe a la región profunda de la cuenca por un descenso muy grande del nivel del mar, y tipo 2, donde parte de la plataforma queda sumergida, generando sedimentación.

La unidad fundamental para el desarrollo de una secuencia es la parasecuencia, a la que se define como una sucesión relativamente concordante de estratos genéticamente relacionados entre sí, limitados por superficies de inundación o por superficies correlativas (Van Wagoner *et al.*, 1988, 1990; Posamentier *et al.*, 1988; Walker, 1990; Arnott, 1995; Spalletti *et al.*, 2001a, 2001b; Coe y Church, 2003). Es la unidad de menor jerarquía utilizada en el análisis estratigráfico secuencial y según sea el movimiento de la línea de costa hacia el continente, puede permanecer estable o migrar hacia el centro de la cuenca, el arreglo de las parasecuencias será retrogradante, agradante o progradante respectivamente (Coe y Church, 2003).

Existen tres superficies importantes: la superficie Transgresiva (ST), la superficie de máxima inundación (SIM) y la superficie de erosión (SRM) (Posamentier y Vail, 1988; Brown *et al.* 1995), las cuales junto con los dos tipos de secuencias descritas anteriormente, delimitan cortejos o *System Track*. Estos se interpretan sobre la base de patrones de depositación, tipos de superficies de delimitación, y su posición a lo largo de curva inferida de los cambios del nivel del mar. Otra definición está dada por Galloway (2004) como "unidades estratigráficas relacionadas genéticamente que incorporan los estratos depositados dentro de un sistema sincrónico".

Los cuatro cortejos clásicamente definidos son (Hunt y Tucker 1995; Catuneanu, 2006):

Cortejo de mar bajo (Lowstand systems Tract-LST): se caracteriza por una baja tasa de ascenso relativo del nivel del mar que no excede la subsidencia, generando deltas en plataformas y eventos turbidíticos.

Cortejo transgresivo (Transgressive systems tract – TST): Se incrementa considerablemente la tasa de ascenso del nivel relativo del mar y se caracteriza por un patrón retrogradacional. Se registra influencia marina significativa en ambientes continentales y se erosionan parcialmente los depósitos acumulados durante el LST (superficie de ravinamiento).

Cortejo de mar alto (Highstand Systems tract – HST): Ascenso del nivel relativo del mar, se caracteriza por un arreglo progradacional de la secuencia ya que se crea espacio de acomodación.

Cortejo de etapa de caída (Falling stage systems tract – FSST): se genera cuando la caída del nivel de base es superior a la subsidencia provocando una migración abrupta de la línea de costa (regresión forzada) generando erosión subaérea y el desarrollo de los valles en la plataforma y depósitos turbidíticos en regiones distales.

Un punto importante es la jerarquía de las secuencias, ya que los factores de control sobre el desarrollo de éstas, como los cambios en la acomodación y aporte de material, se llevan a cabo en diferentes escalas de tiempo; por lo tanto las secuencias se pueden dividir en diferentes órdenes de magnitud temporal.

Las de primer orden y segundo son aquellas que tiene una duración temporal mayor a los 5 Ma y están vinculadas a procesos de tectónica global.

Las secuencias de tercer orden tienen una duración temporal que va de los 0.25 Ma a los 5 Ma y se las relaciona a variaciones del nivel del mar, con alternancias de ambientes sedimentarios.

Las secuencias de cuarto y quinto orden, con una escala temporal que va de los 0.25 Ma a los 100.000 años, están relacionadas a ciclos orbitales, como por ejemplo alternancias rítmicas de facies o de elementos arquitecturales. De esta manera, un relleno de cuenca puede ser subdividido en una jerarquía de secuencias, cada una representando el producto de un determinado orden (Vail *et al.*, 1991).

En este trabajo de tesis se trabajó con superficies de segundo orden, relacionadas directamente con variaciones relativas del nivel del mar, sin dejar de tener en cuenta la antigüedad de las secuencias y que la magnitud de tiempo entre cada una de ellas supere los 5 Ma. Se propone a continuación un modelo simple de estratigrafía secuencial para los depósitos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas que colabore con las interpretaciones paleoambientales.

IX.9.2 Modelo estratigráfico-secuencial de los depósitos estudiados.

Se reconocieron tres superficies de segundo orden (Figura IX.7), de base a techo se describe:

Al techo de la Formación Loma Negra se encuentra la Superficie Barker, producto de la exposición subaérea que generó un relieve cárstico. Es en este nivel estratigráfico donde se identifica las primeras dos superficies denominadas: *Superficie de discordancia Sub aérea* (SD – Línea verde Figura IX.6) y superficie transgresiva, ambas dan inicio a un **Cortejo transgresivo (TST)** en el cual se produce la depositación de la **asociación de facies I** (Mm-PArm) denominada anteriormente como la **secuencia depositacional IV**.

Mediante una nueva superficie de discordancia coplanar, sumado a una superficie transgresiva comienza la depositación de la **asociación de facies II** (Lng – Plm – Ho – Hl) o **secuencia depositacional V**, marcando un nuevo **siclo transgresivo**. Dentro de esta secuencia se reconoce una superficie de inundación máxima (**SMI**– Línea punteada amarilla Figura XI.6), comenzando a disminuir la tasa de acenso relativo del mar marcando el final de la transgresión, dando inicio a un **cortejo de mar alto (HST)** en el cual se continúa con la depositación de la **asociación de facies II**.

Discordancia tectónica mediante, se depositan las facies de Am – Parm- Alx –Hf correspondientes a la **asociación de facies III**; esta nueva superficie de discordancia coplanar, marca el inicio de una nueva secuencia (secuencia VI) que se la podría interpretar como el inicio de un nuevo *Cortejo transgresivo (TST)*.

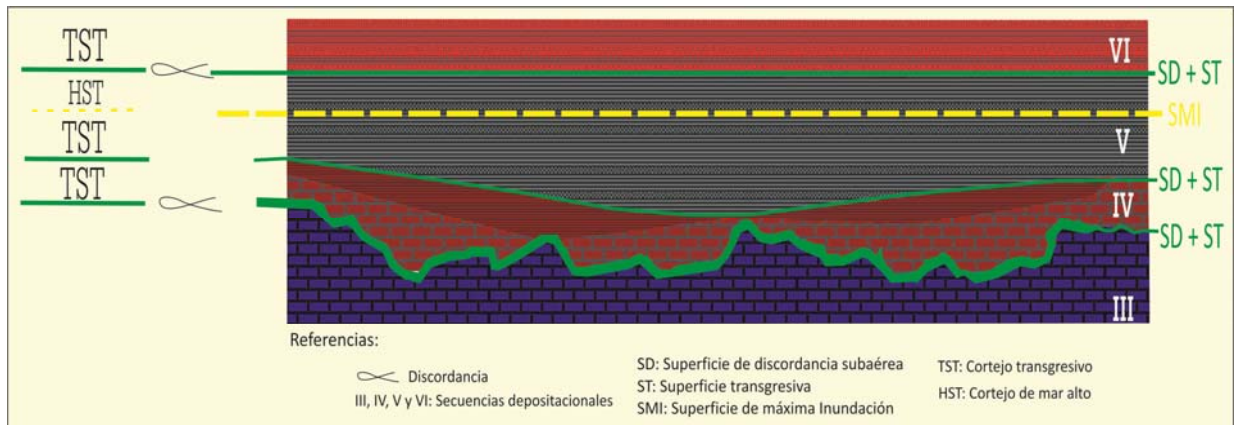


Figura IX.7: Esquema del modelo estratigráfico-secuencial de tercer orden para los depósitos subyacentes al Grupo Sierras Bayas. Línea verde: Superficie de discordancia (SD); Línea amarilla: Superficie de máxima inundación (SMI).

IX.10. Nueva propuesta Estratigráfica

Como se mencionó y describió en el capítulo I, la cobertura sedimentaria está integrada de base a techo por: El Grupo Sierras Bayas (Fm Villa Mónica- Fm Colombo – Fm Cerro Largo – Formación Olavarría- Formación Loma Negra) y por la Formación Cerro Negro.

Teniendo en cuenta que los más de 150 metros de la asociación de facies II nunca antes había sido mencionada y que presenta marcadas evidencias de ser diferente a las asociaciones de facies que se ubican por encima y por debajo de ésta, **se propone darle el carácter de Formación cumpliendo con lo establecido en el que art. 28 por el Código Argentino de Estratigrafía**, donde define a la Formación como: “*unidad litoestratigráfica fundamental usada en la descripción e interpretación de la geología de una región, mapeable en superficie o en subsuelo*”.

Con esta nueva unidad litoestratigráfica, es necesario re definir a la asociación de facies I (Mm – Parm), que deja de pertenecer a la parte basal de la Formación Cerro Negro, para pasar a ser una formación independiente, cumpliendo con las condiciones antes mencionadas, establecidas en el art 28 del Código Argentino de Estratigráfico.

Por lo tanto a continuación, en la **Figura IX.8**, se presenta el nuevo cuadro estratigráfico propuesto para los depósitos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas en la región NO del Sistema de Tandilia. Designando a la asociación de facies III como: **Formación Avellaneda con su localidad tipo en la cantera Cerro Negro**, asociación de facies II como **Formación Alicia con localidad tipo en el Yacimiento Alicia** y a la asociación de facies I redefinida como **Formación Cerro Negro con su localidad tipo en la cantera Cerro Negro**.

Estas tres formaciones están asociadas a una misma cuenca sedimentaria, diferenciándose de las unidades que integran el Grupo Sierras Bayas principalmente por el cambio en la procedencia de los sedimentos; se propone agruparlas en una unidad litoestratigráfica de mayor jerarquía generando así al **Grupo La Providencia** (**Figura IX.8**).


Columna Estratigráfica	Eras Periodos	Unidades estratigráficas	
	Silúrico	Región NO	Región Central
	Ordovícico	Formación Balcarce	Formación Balcarce
	Ediacarano Superior?	Grupo La Providencia	Fm. Cerro Negro
			Fm. Alicia
			Fm. Avellaneda
	Neoproterozoico	Grupo Sierras Bayas	Fm. Loma Negra
			Fm. Olavarría
			Fm. Cerro Largo
			Fm. Colombo
			Fm. Villa Mónica
		Grupo Sierras Bayas	Fm. Cerro Largo
			Fm. Villa Mónica
	900-800		
	Proterozoico	Complejo Buenos Aires	

Figura IX.8: Cuadro estratigráfico del sistema de Tandilia, modificado para los depósitos suprayacentes al Grupo Sierras Bayas (recuadro de color rosa).

De acuerdo a lo dicho anteriormente, se presenta la columna estratigráfica correspondiente a los nuevos avances en el conocimiento litoestratigráfico (Figura IX.9).

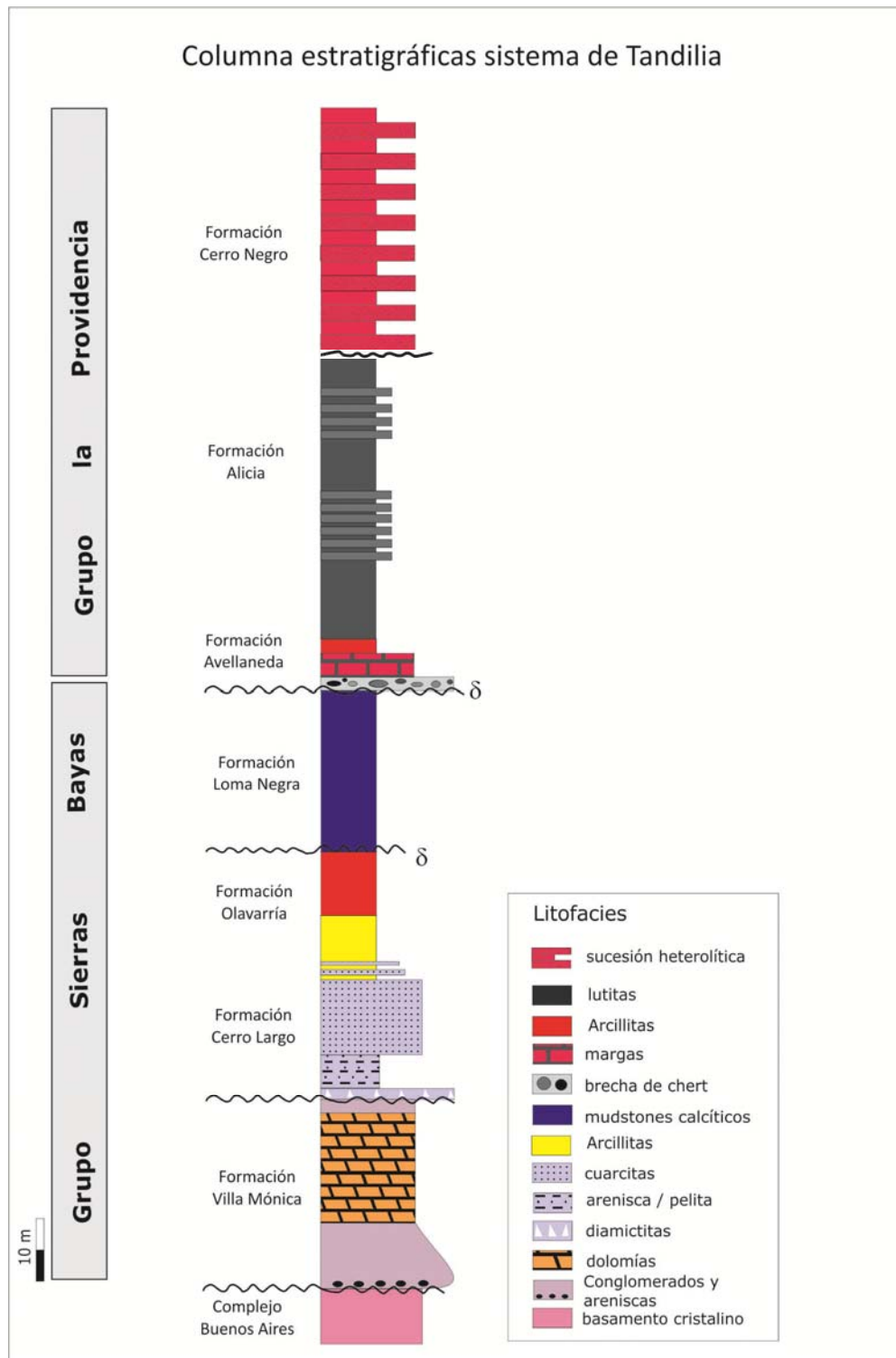


Figura IX.9: Columna estratigráfica simplificada del Grupo Sierras Bayas (Modificado de Gómez Peral 2008 y Cingolani, 2011) y el Grupo La Providencia (Inédito), Sistema de Tandilia.

IX.11 Escenario geodinámico

De acuerdo a lo conocido para el margen sudoeste de Gondwana (GW), el Grupo Sierras Bayas (GSB) y la Formación Cerro Negro conforman los afloramientos más australes del Cratón del Río de la Plata y se han correlacionado con unidades equivalentes en Uruguay (Gaucher *et al.*, 2005) y en Sudáfrica (Dalla Salda, 1982; Gaucher 2005).

Diversos autores como Cawood (2005), Goscombe y Gray (2008), Gaucher *et al.*, (2009) han propuestos diferentes interpretaciones geodinámicas para la reconstrucción del suroeste de GW. Rapella *et al.*, (2011) combinaron estos modelos con resultados propios y obtuvieron, entre otras importantes interpretaciones, una acabada reconstrucción del borde SW de Gondwana para el periodo Neoproterozoico - Cámbrico inferior y el rol que jugaría en esta reconstrucción el Cratón del Río de la Plata.

La formación de Gondwana Sudoeste incluyó al menos dos grandes orogenias transpresionales denominadas: Kaoko-Dom Feliciano (580-680 Ma) y la de Gariep-Saldania (520-580 Ma) (Goscombe *et al.*, 2005 y referencias ahí citadas)

El Cratón del Río de la Plata fue tectónicamente emplazado contra el cinturón Don Feliciano en tiempos del Ediacarano, posterior a los principales acontecimientos orogénicos como la apertura del Oceano Adamastor e inicio del Rifting Damara, pero muy cerca del inicio de la orogenia Gariep-Saldania. Estos autores (Rapela *et al.*, 2011) sugirieron que el cratón del Río de la Plata deriva de una región desconocida del oeste y a la hora de ser emplazado al margen Sudoeste de Gondwana, limitado por la cizalla Sarandi de Yi, que limita a este con el terreno Nico Perez (NP), lleva consigo toda la cubierta sedimentaria la cual se ubica en un rango temporal que abarca entre los 800-900 Ma (Poiré 1987a; Gómez Peral, *et al.*, 2007; Gómez Peral, 2008) para la parte inferior del Grupo Sierras Bayas y para la parte superior del mismo se estima una edad equivalente a los 580 por datos isotópicos de C y Sr en la Formación Loma Negra (Gómez peral, *et al.*, 2007).

Ahora bien, si se considera que el nuevo Grupo La Providencia (GLP) tiene elementos sustanciales que lo diferencian del Grupo Sierras Bayas, como ser un mayor grado diagenético de las arcilitas, la procedencia mineralógica tanto de origen cratónico como de arco, sumado a la marcada discordancia regional o superficie Barker (Poiré y Gaucher, 2007). Se estima que dada la correlación de esta superficie con la misma del tope del Grupo Nama, ubicada temporalmente entre los 550- 545 Ma (Grotzinger *et al.*, 1995; Saylor *et al.*;1998), sumado a que los datos palinológicos aquí obtenidos se aproximan a la asociación de LELP (*late Ediacaran Leiosphere Palynoflora*) acotada temporalmente al intervalo 560 – 540 Ma, permiten sugerir que el Grupo la Providencia todavía no se habría depositado al momento en el que el bloque del CRP fuera emplazado contra el cinturón Don Feliciano. Por lo tanto

se proponen que su depositación se habría producido en un periodo de tiempo que rondaría entre los 560- 540 Ma (Figura IX.10).

Por encima se depositaron los sedimentos de plataforma siliciclástica de la Formación Balcarce, después de la fusión de SW Gondwana, los cuales tienen una edad Ordovícica-Silúrica (Zimmermann y Spalletti, 2009).

Sin embargo, a pesar de los avances alcanzados, se considera necesario continuar con el estudio de la reconstrucción paleogeográfica de las sucesiones neoproterozoicas del margen SW de Gondwana.

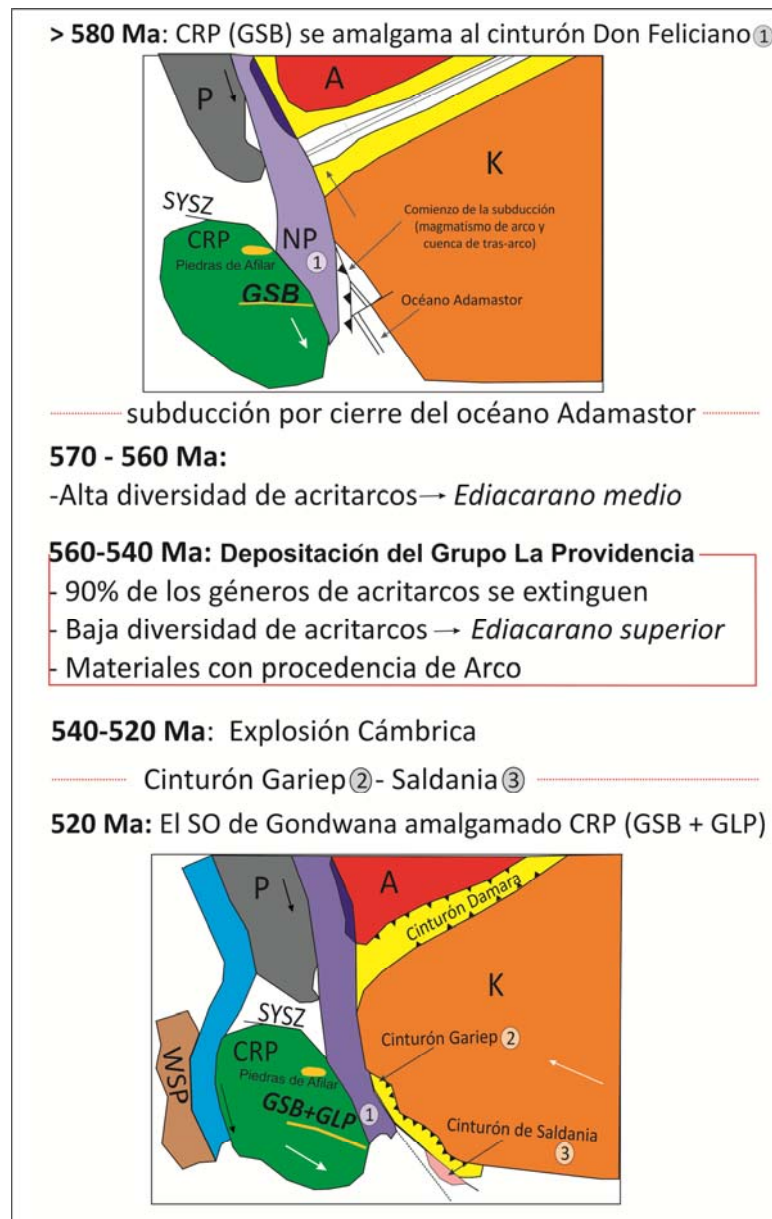


Figura IX.10: Esquema 2D de la reconstrucción geodinámica para el Ediacarano, Modificado de Rapela *et al.*, 2011. Cratones y bloques continentales: A: Bloque Angola, P: Bloque Paranapanema, K: Bloque Kalahari; CRP: Bloque Cratón del Río de la Plata, WSP: Bloque pampeano. SYSZ: Cizalla Sarandí de Yí.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ACEÑOLAZA, F.G. Y CIGUEL, J.H.G., 1987. Análisis comparativo entre las Formaciones Balcarce (Argentina) y Furnas (Brasil). X congreso Geológico Argentino, Actas: 299-305. San Miguel de Tucumán.
- ACEÑOLAZA, G. Y ACEÑOLAZA, F., 2007. Insights in the Neoproterozoic Early Cambrian transition of NW Argentina: facies, environment and fossils in the proto-margin of western Gondwana. In: Vickers-Rich, P. and Komarower, P. (Eds.), the rise and fall of the Ediacaran Biota. Geological Society of London, Special Publication, Vol. 286, pp. 1213.
- ALFARO, M.B., 1981. Estudio geológico de la zona comprendida por las Hojas La Numancia, Licenciado Matienzo y Estancia San Antonio, en las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. 5 Reunión Científica Informativa, Resúmenes: 9, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, La Plata.
- ALMEIDA, F.F.M.DE, AMARAL, G., CORDANI, U.G. AND KAWASHITA, K., 1973. The precambrian evolution of South American cratonic margin south of the Amazon River. In: Nairn, A.E.M. and Stehli, F.G. (Eds.). The ocean basins and margins. Vol. 1: The South Atlantic. Plenum, New York, pp. 411-446.
- ALMEIDA, F.F.M.DE, HASUI, Y. Y BRITO NEVES, B.B.DE, 1976. The Upper Precambrian of South America. Boletim Instituto Geociencias, Universidade de Sao Paulo, 7: 45-80.
- ALMEIDA, F.F.M.DE, BRITO NEVES, B.B.DE AND CARNEIRO, C.D.R., 2000. The origin and evolution of the South American Platform. Earth Sciences Review, 50: 77-111.
- ALONSO, M. S. 2011. Estratigrafía, sistemas depositacionales y aspectos composicionales del relleno Neógeno de la Cuenca Rodeo-Iglesia, San Juan, Argentina. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 312pp.
- ALLÓ, W., 2001. Los yacimientos de Arcillas illíticas ferruginosas La Siempre Verde y La Placeres de Barker. PhD Thesis, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, pp. 1-235.
- AMOS, A., QUARTINO, B. Y ZARDINI, R., 1972. El "Grupo La Tinta" (Provincia de Buenos Aires). Paleozoico y Precámbrico. 25 Congreso Brasileiro de Geología, Actas: 211-221. Sao Paulo.
- ANDREIS, R. R, 2003. The Tandilia System, Province of Buenos Aires, Argentina: its sedimentary successions. En E.A. Domínguez, G.R. Mas y F. Cravero (Eds.): 2001-A Clay Odyssey, pp. 15-22, Elsevier.
- ANDREIS, R.R. Y ZALBA, P.E., 1986. La transgresión del Ordovícico inferior y la evolución paleogeográfica del basamento cristalino en el sector Barker-Chillar, provincia de Buenos Aires, Argentina. 1 Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes Expandidos: 189-192.

- ANDREIS, R.R. Y ZALBA, P.E., 1998. El basamento cristalino y eventos transgresivos y regresivos en las sucesiones silicoclásticas proterozoicas y eopaleozoicas aflorantes entre Chillar y San Manuel, Sierras Septentrionales, Buenos Aires, Argentina. 7 Reunión Argentina de Sedimentología, Actas de Resúmenes: 101-103.
- ANDREIS, R.R., ZALBA, P.E. Y IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., 1992. Paleosuperficies y sistemas depositacionales en el Proterozoico superior de Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 4 Reunión Argentina de Sedimentología, Actas 1: 283-290.
- ANDREIS, R.R., ZALBA, P.E., IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M. Y MOROSI, M., 1996. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión superior de la Formación Cerro Largo, Sierras Bayas (Buenos Aires, Argentina). 6 Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 293-298.
- ANGELELLI, V., VILLA, J., SURIANO, J., 1973. Recursos minerales y rocas de aplicación de la Provincia de Buenos Aires. Revista LEMIT, Serie II, N°235, La Plata.
- ANTONIOLI, J.A., 1969. Formación La Tinta. Notas de la Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, 6 (5): 1-32.
- ÁRKAI P. (1991) Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Paleozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. Journal of Metamorphic Geology, 9, 723-734.
- ARTHUR, M.A., SAGEMAN, B.B., 1994. Marine black shales: a review of depositional mechanisms and significance of ancient deposits. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 22, 499-551.
- BAIN, J. A. 1974 Mineralogical assessment of raw materials for burnt clay puzzolans. Lime and alternative cement. P60 – 72.
- BATTEN, D.J. 1996. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. *In* Palynology. Principles and applications (Jansonius, J.; McGregor, D.C.; editors). American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 3:1011-1064. Salt Lake City.
- BARRIO, C.A., POIRÉ, D. G Y IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., 1991. El contacto entre la Formación Loma Negra (Grupo Sierras Bayas) y La Formación Cerro Negro: Un ejemplo de Paleokarst, Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46 (1-2): 69 – 76.
- BAU, M., DULSKI, P., 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Peng and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. Precambrian Res. 79, 37-55.
- BHATIA MR, COOK KAW (1986) Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, Contrib Mineral Petrol 92: 181-193.
- BLANCO G, RAJESH HM, GAUCHER C, GERMS GJB, CHEMALE F JR (2009). Provenance of the Arroyo del Soldado Group (Ediacaran to Cambrian, Uruguay): implications for the palaeogeographic evolution of southwestern Gondwana, Prec Res 171:57-73.

- BLANCO, G., ZIMMERMANN, U., GAUCHER, C., CHEMALE, JR., F. AND GERMS, G.J.B., 2007. Provenance of the Arroyo del Soldado Group (Ediacaran-Lower Cambrian, Uruguay): detrital zircon U-Pb, Sm-Nd isotopes and geochemical data. V. Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo(CD-ROM).
- BLATT, H., 1982, Sedimentary Petrology: New York, Freeman, p. 564.
- BENEDETTO JUAN L; ACEÑOLAZA GUILLERMO F; 2007. Proterozoico Superior y Paleozoico Inferior, Asociación paleontológica argentina, publicación especial 11, Ameghiniana 50° aniversario: 9-32 Buenos Aires, 2007.
- BERTOLINO, S.R.L., 1988. Estratigrafía, mineralogía y geoquímica de la Formación Cerro Negro en la zona de Villa Cacique, partidos de Juárez y Necochea, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 43 (3): 275-286.
- BERTOLINO, S.R.L., ZIMMERMAN U, SATTLER F (2007) Mineralogy and geochemistry of bottom sediments from water reservoirs in the vicinity of Cordoba Argentina: environmental and health constraints. Appl Clay Sci 36: 206-220.
- BHATIA, M. R. Y CROOK, K. A. W. 1986. Trace elements characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. Contrib Mineral Petrol, 92:181-193.
- BICH C, ET AL. (2009). Influence of degree of dehydroxylation on the pozzolanic activity of metakaolin, Applied Clay Science, 44, 194-200.
- BOLES, J.R., FRANKS, S.G., 1979. Clay diagenesis in Wilcox Sandstones of southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. Journal of sedimentary Petrology 49, 55-70.
- BONHOMME, M.G. Y CINGOLANI, C.A., 1980. Mineralogía y geocronología Rb-Sr y K-Ar de fracciones finas de la "Formación La Tinta", Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35 (4): 519-538.
- BOSSI, J., GAUCHER, C., CHIGLINO, L., SIAL, A.N., NAVARRO, R. AND PIÑEYRO, D., 2008. Parque UTE Group: Mesoproterozoic of the Río de la Plata Cratón (Nico Pérez Terrane, Uruguay). 44 Congreso Brasileiro de Geología, Anais, Curitiba, p. 67.
- BOSSI, J., CINGOLANI, C., 2009. Extension and general evolution of the Río de la Plata Craton. In: Gaucher, C., Sial, A.N., Halverson, G.P., Frimmel, H.E. (Eds): Neoproterozoic-Cambrian Tectonic, global change and evolution: a focus on southwestern Gondwana. Developments in Precambrian Geology, 16, Elsevier, pp. 73-83.
- BORRELLO, A.V., 1966. Trazas, restos tubiformes y cuerpos fósiles problemáticos de la Formación La Tinta, Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. Paleontografía Bonaerense, Fasc. 5, Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires, La Plata.

- BOYD RON, DALRYMPLE, ZAITLIN. ESTUARINE AND INCISED-VALLEY FACIES MODELS. *Facies Models Revisited*, SEPM Special Publication No. 84: 237–292.
- BOYD, R., AND DIESSEL, C.F., 1994. The application of sequence stratigraphy to non-marine clastics and coal: Second High Resolution Sequence Stratigraphy Conference, Tremp, Proceedings, p. 13–20.
- BOYD, R., DALRYMPLE, R., AND ZAITLIN, B.A., 1992, Classification of clastic coastal depositional environments: *Sedimentary Geology*, v. 80, p. 139–150.
- BOYD, R., AND HONIG, C., 1992, Estuarine sedimentation on the eastern shore of Nova Scotia: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 62, p. 569–583.
- BRIDGE J. AND DEMICCO R. 2008. Earth surface processes, landforms and sediment deposits. Cambridge University press. p. 486 – 527.
- BRIAN KENDALL, ROBERT A. CREASER, CLIVE R. CALVER, TIMOTHY D. RAUB, DAVID A. D. EVANS. 2009. Correlation of Sturtian diamictite successions in southern Australia and northwestern Tasmania by RE-Os black shale geochronology and the ambiguity of “sturtian”-type diamictite-cap carbonate pairs as chronostratigraphic marker horizons. *Precambrian Research* 172 (2009) 301–310.
- BRINDLEY, G.W., 1961. Quantitative analysis of clay mixtures: in G. Brown, ed., *The X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals*: Mineralogical Society, London, 489–516.
- BRINDLEY, G.W. Y BROWN G., 1980. Crystal structure of clay minerals and their X-Ray identification. Mineralogical Society Eds.
- BROWN G., Y BRINDLEY, G.W., 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification: in Brindley, G.W., G., Eds. *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification*: Mineralogical Society, London, 305–359.
- BUIK, L., DES MARAIS, D.J., AND KNOLL, A. H., 1995, Stable isotopic compositions of carbonates from the Mesoproterozoic Bangemall Group, northwestern Australia, *Chem. Geol.* 123: 153–171.
- BUIK, R., AND KNOLL, A.H., 1999, Acritarchs and microfossils from the Mesoproterozoic Bangemall Group, northwestern Australia, *J Paleontol.* 73: 744–764.
- BUTTERFIELD, N.J., KNOLL, A.H. Y SWETT, K. 1994: Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfjellet Formation, Spitsbergen. 84 pp. ISBN 82-00-37649-4.
- BUTTERFIELD, N.J., 1997, Plankton ecology and the Proterozoic-Phanerozoic transition, *Paleobiology* 23: 247–262.
- BUTTERFIELD, N.J., 2000, *Bangiomorpha pubescens* n.gen., n. Sp.: Implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes, *Paleobiology* 26: 386–404.

- BUTTERFIELD, N.J., 2004. A vaucheriacean alga from the middle Neoproterozoic of Spitsbergen implications for the evolution of Proterozoic eukaryotes and the Cambrian explosion *Paleobiology* 30 (2), 231-251.
- BUTTERFIELD, N.J., 2005. Probable proterozoic fungi *Paleobiology* (1), 165-182.
- CALVER, C.R., 2000. Isotope stratigraphy of the Ediacaran (Neoproterozoic III) of the Adelaide rift complex, Australia, and the overprint of water column stratification. *Precambrian Research*, 100:121-150.
- CANFIELD, D.E., POULTON, S.W., KNOLL, A.H., NARBONNE, G.M., ROSS, G., GOLDBERG, T. AND STRAUSS, H., 2008. Ferruginous conditions dominated later Neoproterozoic deep-water chemistry *Science* 321: 949-952.
- CATUNEANU O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Ed.Elsevier.
- CHAMLEY, H., 1993. Le Sedimentation marine des minéraux argileux. In: Paquet, H., Clauer, N. Eds., *Sedimentologie et Geochimie de la Surface. Colloque a la memoire de George Millot Les Colloques de l'Academie des Sciences et du Cnrs, institut de France*, 217-241.
- CHONGYU YIN, STEFAN BENGTON, and ZHAO YUE. 2004. Silicified and phosphatized Tianzhushania, spheroidal microfossils of possible animal origin from the Neoproterozoic of South China. *Acta Palaeontologica Polonica* 49 (1): 1-12.
- CHAMLEY, H., 1989. *Clay Sedimentology*. Springer Verlag, Berlin-New York: 623 pp.
- CINGOLANI, C.A. Y BONHOMME, M.G., 1982. Geochronology of La Tinta Upper Proterozoic sedimentary rocks, Argentina. *Precambrian Research*, 18 (1-2): 119-122.
- CINGOLANI, C.A. DALLA SALDA L 2000. Buenos Aires Cratonic region in cordani U, Milani E, Thomaz Filho A, Campos (eds) *Tectonic Evolution of south america in proceeding 31 st international geological congress Rio de Janeiro*, ppl 139-146.
- CINGOLANI C.A., RAUSCHER, R. Y BONHOMME, M., 1991. Grupo La Tinta (Precámbrico y Paleozoico inferior) provincia de Buenos Aires, Republica Argentina. Nuevos datos geocronologicos y micropaleontologicos en las sedimentitas de Villa Cacique, partido de Juarez. *Revista Técnica de YPF*, 12 (2): 177-191
- CINGOLANI, C.A.; GAUCHER C; 2005. Cuencas del Neoproterozoico-Cámbrico de Argentina y Uruguay- Introducción. *Latin American Journal of sedimentology and basin analysis*, Vol. 12 (2) 2005, 61-64.
- CINGOLANI, C.A., SANTOS, J.O.S., MCNAUGHTON, N.J. AND HARTMANN, L.A., 2005. Geochronología U-Pb SHRIMP sobre circones del Granitoide Montecristo, Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 161 Congreso Geológico Argentino, La Plata 1, p. 299-302.

- CINGOLANI, C.A, 2010. The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* (2011) 100:221-242 Springer-Verlag 2010.
- COLLINSON, J. D, 1969. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscoutgrit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39: 194-221.
- CORSETTI F.A., STANLEY M. A. and PIERCE D. Communicated by John C. Crowell, University of California, Santa Barbara, CA, January 29, 2003 (received for review October 7, 2002). A complex microbiota from snowball earth times: Microfossil from the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, USA. 100: 4399-4404.
- CULLERS R. L, BARRETT. T, CARLSON. R, ROBINSON. B (1987) Rare-earth element and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment: a case study in the Mountains, Colorado, USA. *Chem Geol* 63:275-297.
- CUOMO J.R; BALDIS E. y ROSSI, N., 1975. La edad precámbrica de la serie de la tinta, Olavarría, Provincia de Buenos Aires, República Argentina, Resúmenes. Bahía Blanca, p.16.
- CUOMO J.R; MÓNACO A.N; MARUCA E.A, 1983. Nuevos yacimientos subterráneos de caliza en el área de Olavarría, provincia de Buenos Aires. *Actas del Segundo Congreso Nacional de Geología económica*, Tomo I.
- DALLA SALDA, L. E IÑIGUEZ, A.M., 1979. La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. 7 Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 539-550.
- DALLA SALDA.; 1982. Nama – La Tinta y el inicio de Gondwana. *Acta Geologica Lilloana* XVI: 1 (1982).
- DALLA SALDA, L.H, BOSSI J, CINGOLANI C.A (1988) The Río de la Plata cratonic region of southwestern Gondwana. *Episodes* 11(4); 263-269.
- DALLA SALDA, W.D DALZIEL; 1993. Evolución paleogeográfica del occidente de Gondwana durante el Neoproterozoico-Paleozoico Medio. Primer simposio internacional del Neoproterozoico-cámbrico de la cuenca del Plata, Uruguay. Tomo I.
- DALLA SALDA, L. SPALLETI, L., POIRE, D., DE BARRIO, R., ECHEBESTE, H. AND BENIALGO, A., 2006. Tandilia. *Serie Correlación Geológica*, 21: 17-46.
- DARWIN, C. 1846. Geological observations on South America, being the third part of the geology of the voyage of the Beagle during 1832-1836. Londres.
- DIVER, W.L AND PEAT C.J., 1979. On the interpretation and classification of Precambrian organic-walled microfossils. *Geology*, 7, p.401-404, Boulder.

- DRISTAS, J.A. Y FRISICALE, M.C., 1996. Geochemistry of an altered pyroclastic suite interbedded in the sedimentary cover of the Tandilia Area, Buenos Aires, Argentina. *Zentralblatt f. Geologie u. Paleontologie*, 1 (7-8): 659-675.
- DRISTAS, J.A. Y FRISICALE, M.C., 2003. Two types of hydrothermal clay deposit in the south-east area of Tandilia, Buenos Aires Province, Argentina. En E.A. Domínguez, G.R. Mas y F. Cravero (Eds.): 2001-A Clay Odyssey, 85-92p, Elsevier.
- DORNING, K. J. 1981. Silurian acritarchs from the type wenlock and Ludlow of Shropshire, England. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Volume 34, p. 175-203.
- DORNING, K.J., 1981B. Silurian acritarch distribution in the Ludlovian shelf sea of the South Wales and the Welsh Borderland In Neale, Jw., Brasier, M.D. (ed) *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*. Ellis Horwood Chichester England, p. 31-36.
- EISENACK, A., 1958. Tasmanites Newton 1875 und Leiosphaeridia n.g als Gattungen der Hystrichosphaeridia. *Paleontographica*, Abteilung A 1110, 1-19.
- EMERY, K.O., AND STEVENSON, R.E., 1957, Estuaries and lagoons, in Hedgpeth, J.W., ed., *Treatise on Marine Ecology*, Vol. 1: Geological Society of America, Memoir 67, p. 673-750.
- ERIKSSON K.A. Tidal deposits from the Archaean Moodies Group, Barberton Mountain Land, South Africa. *Sedimentary Geology*. Volume 18, Issue 1 -3, June 1977, p. 257 -281.
- ESQUEVIN, J. 1969. Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. *Bulletin Centre Recherche Pau- SNPA* 3 (1), 147-153.
- EVITT, W.R., 1963. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 49, 298-302.
- ETCHEVERRY, R.; RECIO C.; LANFRANCHINI M.; DOMINGUEZ E. 2006. Análisis de Isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ - δD) en depósitos de arcillas de las sierras de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Sociedad Geológica de España*, 19(1-2)
- EVITT, W.R., 1963. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America* 49, 298-302.
- FEDONKIN, M.A., WAGGONER, B.M., 1997. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature* 388, 868-871.
- FEDO C.M., NESBITT H.W., YOUNG G.M. (1995) Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and palaeosoils, with implications for palaeoweathering conditions and provenance. *Geology* 23:921-924.

- FRALICK P (2003) Geochemistry of clastic sedimentary rocks: ratio techniques. In: Lentz DR (ed) Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral-deposit forming environments. Geol Assoc GEO Text 4:85-104.
- FREY, M.; ROBINSON D.(1987) Low Grade Metamorphosis; Chapter 2: Very low-grade metapelites: Mineralogy, microfabrics and measuring reaction progress; Chapter 3: Patterns of very low-grade metamorphism in metapelitic rocks.
- FRISCALE, M.C., 1991. Estudio de algunos yacimientos de arcilla originados por actividad hidrotermal, en las Sas. Septentrionales de la Prov. De Buenos Aires. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Tesis Doctoral, 217 p. (Inédito).
- FRISCALE, M.C. Y DRISTAS, J.A., 1993. Alteración hidrotermal en el contacto entre el basamento y la secuencia sedimentaria en el Cerrito de la Cruz, Tandilia. 12 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 222-228.
- FRISCALE, M.C. Y DRISTAS, J.A., 2000. Génesis de los niveles arcillosos de Sierra de la Tinta, Tandilia. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (1-2): 3-14.
- GALÁN, E. 2006. Cap. 14 Handbook of Clay Science, 2006. Eds. Bergaya, F., Then B.K.G., Lagaly, G. Developments in Clay Science, Vol. 1. Elsevier.
- GAUCHER, C., 2000. Sedimentology, palaeontology and stratigraphy of the Arroyo del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay). Beringeria, 26:1-120.
- GAUCHER, C Y GERMS, G.J.B. 2003. Acritarch biostratigraphy and correlations of the late vendian Congo Caves Group, Saldania Belt (South Africa). III International Colloquium Vendian-Cambrian of W-Gondwana. Cape Town University.
- GAUCHER, C., SIAL A.C., HALVERSON G.P, FRIMMEL H.E, 2010. Neoproterozoic-Cambrian Tectonic, Global Change and Evolution. A Focus on Southwestern Gondwana. Elsevier .ISSN: 0166-2635. Part 9 Neoproterozoic-Cambrian Biota. Cap 9.1 Neoproterozoic Acritarch Evolution.
- GAUCHER, C., SIAL, A.N. Y GERMS, G.J.B., 2008c. Evidence of late Neoproterozoic, post-Gaskier events from sedimentary succedions in southwestern Gondwana, 33rd International Geological Congress, Oslo (CD-ROM).
- GAUCHER, C., POIRÉ, D.G., GÓMEZ PERAL, L. y CHIGLINO, L. 2005b Litoestratigrafía, bioestratigrafía y correlaciones de las sucesiones sedimentarias del Neoproterozoico-Cámbrico del Cratón del Río de la Plata (Uruguay y Argentina). Latin American Journal of sediementology and basin análisis. Vol. 12 [2] 2005, 145-160.ISSN 1669 7316.
- GAUCHER, C., BOGGIANI, P.C., SPRECHMANN, P., NÓBREGA SIAL, A. y FAIRCHILD, T., 2003. Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and

- Brazil): palaeogeographic, palaeoclimatic and palaeobiologic implications. *Precambrian Research*, 120 (3-4): 241-278.
- GAUCHER, C., BOGGIANI, P.C., SPRECHMANN, P., NÓBREGA SIAL, A. y FAIRCHILD, T., 2003. Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and Brazil): palaeogeographic, palaeoclimatic and palaeobiologic implications. *Precambrian Research*, 120 (3-4): 241-278.
- GONCALVES J. P (2009), Performance evaluation of cement mortars modified with metakaolin or ground brick, *Construction and Building Materials*, 23, 1971-1979.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., 1954. Geología de las Sierras Bayas, partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires. LEMIT, Provincia de Buenos Aires, Serie II (55): 5-37.
- GÓMEZ-PERAL, L.E., KAUFMAN, A.J., POIRÉ, D.G., 2014. Two phosphogenic events in neoproterozoic sedimentary successions of the Tandilia system, Argentina: Paleoenvironmental implications. *Precambrian Research*, 252, 88-106.
- GÓMEZ-PERAL, L.E., RAIGEMBORN, M.S., POIRÉ, D.G., 2011. Petrología y evolución diagenética de las facies silicoclásticas del Grupo Sierras Bayas, Sistema de Tandilia, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis (LAJSBA)* 18 (1), 3-41
- GÓMEZ PERAL, L.E., POIRÉ, D.G., STRAUSS, H., ZIMMERMANN, U., 2007. Chemostratigraphy and diagenetic constraints on Neoproterozoic carbonate successions from the Sierras Bayas Group, Tandilia System, Argentina. *Chemical Geology*, 237, 127-146.
- GÓMEZ PERAL, L.E., 2008. Petrología y diagénesis de las unidades sedimentarias precámbricas de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata Tomo I: 327pp y tomo II: 292pp (inédito).
- GÓMEZ PERAL L., Y POIRÉ, D.G., 2003. Petrographic and diagenetic features of the dolomitic facies of Villa Mónica Formation (Precambrian), Tandilia System, Argentina. 3 Latin American Congress of Sedimentology. Abstracts: 43-44.
- GÓMEZ PERAL, L., POIRÉ, D.G., STRAUSS, H. Y ZIMMERMANN, U., 2003A. Isotopic and diagenetic constraints of the Neoproterozoic Loma Negra Formation, Tandilia System, Argentina. First Results. 4 South American Symposium on Isotope Geology, Actas 353-356.
- GÓMEZ PERAL, L., POIRÉ, D.G., STRAUSS, H. Y ZIMMERMANN, U., 2003B. Isotopic and diagenetic constraints of the Neoproterozoic Villa Mónica Formation, Tandilia System, Argentina. 10 Congreso Geológico Chileno, Actas CD.
- GÓMEZ PERAL, L., POIRÉ, D.G., ZIMMERMANN U. Y STRAUSS H., 2004. Chemostratigraphy and diagenetic constraints on Neoproterozoic carbonate successions from the Sierras Bayas Group,

- Tandilia System, Argentina. 1 Symposium on Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW-Gondwana, Extended Abstracts 30-32.
- GÓMEZ PERAL, L.E., POIRÉ, D.G., ZIMMERMAN, U. Y STRAUSS, H., 2005. C-O isotope data and diagenetic constraints of the Neoproterozoic Sierras Bayas Group, (SW Gondwana), Argentina. *Chemical Geology*.
- GOSCOMBER, B., GRAY, D. Y HAND, M., 2005a. Extrusional tectonic in the core of transpressional orógeno: The Kaoko Belts, Namibia. *Journal of Petrology*, 46: 1203-1241.
- GREY, K., 2005. Ediacaran palynology of Australian. *Memoirs of the Association of Australian Paleontologists* 31, 1-439.
- GREY, K., WALTER, M.R., CALVER, C.R., 2003. Neoproterozoic biotic diversification: Snowball Earth or aftermath of the Acraman impact? *Geology* 31, 459-462.
- GROTZINGER, J.P Y KNOLL, A.H., 1995. Anomalous carbonate precipitates: is the Precambrian the key to the Permian? *Palaios*, 10: 578-596.
- HARRINGTON, H., 1940. La edad de la dolomita de Olavaria y la estructura de corrimiento de las Sierras Bayas. *Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie 1, Geología*, 6: 233-258.
- HAUTHAL, R., 1896. Contribución al estudio de la geología de la provincia de Buenos Aires, I. Las Sierras entre Cabo Corrientes e Hinojo. *Revista del Museo de La Plata*, 7, 477-489.
- HENLEY, R.W., 1985. The geothermal framework for epithermal systems. In: Berger, B.R., Bethle, P.M. (Eds.), *Reviews on Economic Geology*, vol. 2. *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. Society of Economic Geologists, Chelsea, MI, pp. 1-24.
- HOFFMAN, P.F., KAUFMAN, A.J., HALVERSON, G.P., AND SCHRAG, D.P., 1998, A Neoproterozoic snowball Earth, *Science* 281: 1342-1346.
- HOFFMAN, P.F., AND SCHRAG, D.P., 2002. The snowball Earth hypothesis: Testing the limits of global change, *Terra Nova* 14: 129-155.
- HOLLAND, H., 2006. The oxygenation of the atmosphere and Oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 361:903-915.
- HYDE, W.T., CROWLEY, T.J., BAUM, S.K., AND PELTIER, W.R., 2000. Neoproterozoic "snowball Earth" simulations with a coupled climate/ice-sheet model, *Nature* 405: 425-429.
- INGERSOLL, R.V, BULLARD, T.F, FORD, R.L, GRIMM, J.P, PICKE, J.D. Y SARES, S.W. 1984. The effect of grain size on detrital model: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of sedimentary Petrology* 54, 103-116.
- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M. Y ZALBA, P.E., 1974A. Nuevo nivel de arcilitas en la zona de Cerro Negro, Partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. *Anales del LEMIT, Serie 2*, 264: 95-100.

- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M. Y ZALBA, P.E., 1974B. Geología de las arcillas refractarias de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 29: 304-310,
- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M.; ZALBA, P.E., 1988. Arcillas, su distribución, características y aplicaciones en Argentina. *Revista Panorama Minero*, Buenos Aires, 125, p.4-17.
- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M.; ZALBA, P.E. & ANDREIS, R.R., 1990. Mineralogy and Chemistry of Cambrian paleosols, Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina. 9 International Clay Conference, Proceedings 9, *Science Géologie Mémoire*, 85: 175-184.
- IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., DEL VALLE, A., POIRÉ, D.G., SPALLETTI, L.A. Y ZALBA, P.E., 1989. Cuenca precámbrica-paleozoica inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires. En: Chebli, G. & Spalletti, L.A. (Eds.): *Cuencas Sedimentarias Argentinas*, p. 245-263, Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica 6.
- JANKAUSKAS, T.V., MIKHILOVA, N.S., HERMANN, T.N., 1989. *Microfossili Dokembriya SSSR*. (Precambrian Microfossils of the USSR). Nauka, Leningrad.
- KELLER, W.D., 1970. Environmental aspects of clay minerals. *Journal of Sedimentary Petrology* 40, 798-813.
- KENDALL, B.; CREASER R.; CALVER, C.; RAUB T.; EVANS D. Correlation of Stuartian diamictite successions in souther Australian and northwestern Tasmania By RE-Os black shale geochronology and the ambiguity of "stuartian"-type diamictite-cap carbonate pairs as chronostratigraphic marker horizons. *Precambrian Reserch* 172 (2009) 301-310.
- KISCH, H.J. 1991. Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction setting, and interlaboratory samples. Department of Geology and Mineralogy, Ben-Gurion University of the Negev, PO Box 653, Beer Sheva 84105, Israel. *J. Metamorphic Geol.*, 1991, pag.9,655-670.
- KIRSCHVINK, J. L., 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciations: the snowball Earth. In: *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study* (J.W.Schopf and C. Klein, Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, p. 51-52.
- KNOLL, A.H., 1994. Proterozoic and Early Cambrian protists evidence for accelerating evolutionary tempo. *Proc.Natl.Acad. Sci. USA* 91, 6743-6750.
- KNOLL, A.H., 2000. Learning to tell Neoproterozoic time *Precambrian Reserch* 100, 3-20.
- KRAFT, J.C., CHRZASTOWSKI, M.J., AND BELKNAP, D.F., 1987, The transgressive barrier-lagoon coast of Delaware: morphostratigraphy, sedimentary sequences and responses to relative rise in sea level, in Nummedal, D., Pilkey, O.H., and Howard, J.D., eds., *Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution: SEPM, Special Publication* 41, p. 129-143.

- KÜBER, B.; JABOYEDOFF, M. ILLITE CRYSTALLINITY. Received 13 March 2000; accepted 13 de june 2000. C.R Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes/Earth and Planetary Sciences 331 (2000) 75-89.
- LACASSIE JP, HERVE F, ROSER B (2006) Sedimentary provenance study of the post-Early Permian to pre-Early Cretaceous metasedimentary Duque de York Complex, Chile, Rev Geol Chile 33:199-219.
- LEANZA, C.A. y HUGO, C.A., 1987. Descubrimiento de fosforitas sedimentarias en el Proterozoico Superior de Tandilia, Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 42 (3-4): 417-428.
- LEGAL, F.D., C.R. BARNES AND R. MACQUEEN 1981. Thermal maturation, burial history and hotspot development, Paleozoic strata of Southern Ontario-Quebec, from conodont and acritarch colour alteration studies. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v. 29, no.4, p. 492-539.
- LLUCH J.J y SPALLETTI L. A. , 1976. Minerales de arcillas en los sedimentos actuales de la región del cerro San Lorenzo, provincia de Santa Cruz. Asociaciòn Geologica Argentina Revista XXXI (1): 23-32.
- MACDONALD, G.A., y KATSURA, T. 1964. Chemical composition of Hawaiian lavas. J. Petr. 5: 82-133.
- MARCHESE, H.G. Y DI PAOLA, E.C., 1975A. Reinterpretación estratigráfica de la Perforación Punta Mogotes N° 1, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 30 (1): 17-44.
- MARCHESE, H.G. y DI PAOLA, E., 1975B., Miogeosinclinal Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 30 (2): 161-179.
- MASSABIE, A.C; NESTIERO O, E, 2005. La estructura del grupo Sierras Bayas en el sector norte de las sierras homónimas, noroeste de las sierras Septemtrionales de Buenos Aires. Revista de la asociación Geológica Argentina, 60 (1): 185-196
- MCLENNAN S.M., 2001 Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. Geochemistry Geophysics Geosystem, vol. 2, paper number 200GC000109.
- MCLENNAN S.M, TAYLOR SR, McCULLOCH MT, MAYNARD JB, 1990 Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: cristal evolution and plate tectonic associations Geochim Cosmochim Acta 54: 2015-2205.

- MCLENNAN S.M, HEMMING S.R, McDANIEL D.K, HANSON G.N, 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In Jhonsson MJ, Basu A (EDS) Processes controlling the composition of clastic sediments. Geol Soc Am Spec Pap 284:21-40.
- MCLENNAN S.M, BOCKB, HEMMING S.R, HORROWITZ J.A, LEV S.M, McDANIEL D.K, 2003 The roles of provenance and sedimentary processes in the geochemistry of sedimentary rocks, In: Lentz RD (ed) Geochemistry of sediments and sedimentary rocks : evolutionary considerations to mineral-deposit-forming environments. Geol Assoc Canada, GEOText 4:7-38.
- MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R., J. TORRES, J., SILVA, J., Y DELVASTO, S. Influencia de la adición de metacaolín a morteros y hormigones. Boletín Geológico y Minero, 117 (4): 715-722 ISSN: 0366-0176.
- MENDELSON, C.V; 1987. Acritarchs, In Lipps, J. (Ed) Fossil Prokaryotes and Protist University of Tennessee, Knoxville.
- MIALL, A.D., 1990. Principles of sedimentary basin analysis (Second Edition), New York (Springer), 668pp.
- MIALL, A.D., 1996. The Geology os stratigraphic Sequences. Ed. Springer-Verlag Berlind and Heidelberg Gimb & Cok. 449pp.
- NÁGERA, J.J. 1919. La Sierra Baya (Prov. de Buenos Aires). Estudio geológico y económico. Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería 14 (1): 1-66.
- NÁGERA, J.J. 1932. Primera carta geológica general de Tandilia. Escala 1:500.000
- NÁGERA, J.J. 1940. Historia física de la Provincia de Buenos Aires, 1. Tandilia. Univ. Nac. La Plata, Fac. Human. Cienc. Educ, Biblioteca Humanidades, La Plata, 24.
- NESBITT, H.W., Young, G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutitas. Nature 299, 715-717.
- NESBIT, H.W., E YOUNG, G.M, 1989. Formation and diagénesis of weathering profiles. Journal of Geology, 97, 129-147.
- NESBITT, H.W., YOUNG, G.M., MCLENNAN, S.M., , 1996. Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. Journal of Geology 104, 525-542.
- ORTEGA-HUERTAS, M., PALOMO, I., MORESI, M., ODDONE, M., 1991. A mineralogical and geochemical approach to establish a sedimentary model in a passive continental margin (Subbetic Zone, Betic Cordilleras, SE Spain). Clay Minerals 26, 389-407.
- PALACIOS, A.H., 1946. Contribución al conocimiento geológico de la parte oriental del partido de Olavarría, provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Tesis Doctoral 94, 179 pp. (Inédito).

- PANKHURST, R.J., RAMOS, A., LINARES, E. 2003. Antiquity of the Río de la Plata craton in Tandilia, southern Buenos Aires province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 5-13.
- POIRÉ, D.G., 1987A. Mineralogía y sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el Núcleo Septentrional de las sierras homónimas, partido de Olavarria, provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Tesis Doctoral 494, 271 pp. (Inédito).
- POIRÉ, D.G., 1987B. Dolomitización estromatolítica / enterramiento tardío en el Precámbrico de Olavarria, provincia de Buenos Aires, Argentina. 10 Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 25-28.
- POIRÉ, D.G., 1989. Stromatolites of the Sierras Bayas Group, Upper Proterozoic of Olavarria, Sierras Septentrionales, Argentina. *Stromatolite Newsletter*, 14: 58-61.
- POIRÉ, D.G., 1990. Ciclos estromatolíticos y cuerpos monoestromatolíticos de la Formación Villa Mónica, Precámbrico de Olavarria: su significado sedimentológico. 3 Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 223-228.
- POIRÉ, D.G., 1993. Estratigrafía del Precámbrico sedimentario de Olavarria, Sierras Bayas, provincia de Buenos Aires, Argentina. 13 Congreso Geológico Argentino y 3 Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 1-11.
- POIRÉ, D.G., 1998. Estructuras sedimentarias orgánicas en sedimentitas gruesas del Paleozoico de Chillar, Tandilia, Argentina. 5 Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 1: 9-18.
- POIRÉ, D.G., 2002. The Precambrian/Lower Paleozoic sedimentary cover of Tandilia System, Argentina. En C. Gaucher y D.G. Poiré (Eds.): *Field trip Guide of II International Colloquium Vendian-Cambrian of W-Gondwana* pp 55-66, Unesco.
- POIRÉ, D.G., 2004. Sedimentary history of the Neoproterozoic of Olavarria, Tandilia System, Argentina: new evidence from their sedimentary sequences and unconformities - A "snowball Earth" or a "phantom" glacial? 1 Symposium on Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW-Gondwana, Extended Abstracts 46-48.
- POIRÉ, D.G. Y DEL VALLE, A., 1996. Trazas fósiles en barras submareales de la Formación Balcarce (Ordovícico), Cabo Corrientes, Mar del Plata, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial*, 4, 89-102.
- POIRÉ, D.G., CANALICCHIO J.M.; ALONSO G. 2005. Las calizas del sistema de tandilia y su utilización en la industria cementera. XVI Congreso Geológico Argentino, Relatorio, Cap. XXIV: 387-396.

- POIRÉ, D.G. Y IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., 1984. Miembro Psamopelitas de la Formación Sierras Bayas, partido de Olavarría, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39 (3-4): 276-283.
- POIRÉ, D.G., DEL VALLE, A., REGALÍA, G.M., 1984. Trazas fósiles en cuarcitas de la Formación Sierras Bayas (Precámbrico) y su comparación con las de la Formación Balcarce (Cambro-Ordovícico), Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. 9 Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 249-266.
- POIRÉ, D.G., SPALLETI, L.A. Y DEL VALLE, A., 2003. The Cambrian-Ordovician siliciclastic platform of the Balcarce Formation (Tandilia System, Argentina): facies, trace fossils, palaeoenvironments and sequence stratigraphy. *Geologica Acta* 1 (1): 41-60.
- POIRÉ, D.G., GAUCHE, C. 2009. Lithostratigraphy Neoproterozoic-Cambrian evolution of the Río de la Plata Palaeocontinent In: Gaucher, c., Sial, A.n., Halverson, G.P., Frimmel, H.E. (Eds): Neoproterozoic-Cambrian Tectonics, global change and evolution: a focus on southwestern Gondwana. *Developments in Precambrian Geology*, 16, Elsevier, pp.87-101.
- POLLASTRO, R.M., 1993. Considerations and applications of the Illite/Smectite Geothermometer in hydrocarbon-bearing rocks of Miocene to Mississippian age. *Clays and Clay Minerals*, 41, 119-133.
- PORADA, H., 1989. Pan-African rifting and orogenesis in Southern to Equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Research*, 44: 103-136.
- POTHE DE BALDIS, E D. B.A BALDIS, Y CUOMO J; 1983. Los fósiles precámbricos de la Formación Sierras Bayas (Olavarría) y su importancia. *Rev. Asoc. Geologica Argentina XXXVIII*. 1.73-83.
- POTTER, P.E; MAYNARD, J.B; DEPETRIS, P.J., 2005. *Mud and Mudstones. Introduction and Overview*. ISBN 3-540-22157-3 Springer Berlin Heidelberg New York. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
- RAMACHANDRAN S.V., 1995. *Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science and Technology*, 2nd ed., Nuyes Publications, New Jersey, USA. P. 67. Cap.9.
- RAPALINI A, 2006. New Late Proterozoic paleomagnetic pole for the Rio de la Plata craton: implications for Gondwana. *Precambrian Res* 147:223–233. doi: [10.1016/j.precamres.2006.01.016](https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.01.016)
- RAPALINI A.E, SANCHEZ BETTUCCI L, 2008. Widespread remagnetization of late Proterozoic sedimentary units of Uruguay and the apparent polar wander path for the Rio de La Plata craton. *Geophys J Int* 174:55–74. doi: [10.1111/j.1365-246X.2008.03771](https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03771)
- RAPALINI A.E, POIRE. D.G, TRINDADE. R.I, RICHARTE .D, 2008 Geochronologic and geodynamic implications of palaeomagnetic results from the Sierras Bayas Group, Rio de la Plata craton

- (Argentina). In: Proceedings of 6th South American symposium on isotope geology, Bariloche (CD-ROM)
- RAPELA, C.W., 2000. The Sierras Pampeanas of Argentina: Paleozoic Building of the Southern Proto-Andes. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A., y Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of south America, 31 st International Geological Congress, pp. 381-387.
- RAPELA, C.W, DALLA SALDA, L. Y CINGOLANI, C.A., 1974. Un intrusivo básico ordovícico en la Formación La Tinta (Sierra de los Barrientos, Provincia de Buenos Aires). Revista de la Asociación Geológica Argentina, 29 (3): 319-331.
- RAPELA, C.W, PANKHURST R.J, CASQUET C, FANNING C.M, BALDO, E.G., GONZÁLEZ-CASADO J.M, GALINDO C., DAHLQUIST J. The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana. Earth-science., Elsevier Reviews 83 (2007) 49-82.
- RAPELA, C.W., FANNING, C.M., CASQUET, C., PANKHURST. R. J., SPALLETTI, L., POIRÉ, D. G., BALDO, G. B., 2011. The Río de la Plata craton and the adjoining Pan-Africa/brasiliano terranes: Their origins and incorporation into south-west Gondwana. Gondwana Research, 20, 673-690.
- READING, H., 1978. Sedimentary environments and facies. Blackwell, 576 pp, Oxford.
- ROLLINSON HUGH. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longan Group UK Ltd 1993.
- RUNNEGAR, B., 2000, Loophole for snowball Earth, Nature 405: 403-404.
- SAGASTI G, 2001. Estudio Sedimentológico y de estratigrafía secuencial de las sedimentitas Carbonáticas de la Fm Agrio (Cretácico Inferior), en el sector sur mendocino de la cuenca Neuquina, Republica Argentina. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral.
- SAMET B., 2007. Use of kaolinitic clay as a pozzolanic material for cements: Formulation of blended cement, Cement and Concrete Composites, 29(10), 741-749.
- SARJEANT W.A.S. Y STANCLIFFE R.P.W. 1994. The Micrhystridium and Veryhachium complexes (Acartaria: acartariidae and Polygonomorphidae): a taxonomic reconsideration Micropaleontology 40: 1-77.
- SAYLOR, B.Z., KAUFMAN, A.J., GROTZINGER, J.P. Y URBAN, F., 1998. A composite reference section for Terminal Proterozoic strata of Southern Namibia. Journal of Sedimentary Research, 68: 1223-1235.
- SCHILLER, W. 1930. Complicaciones tectónicas (cobijaduras) en las Sierras de Tandil. Rev. Mus. La Plata 32: 299-306.
- SCHILLER, W. 1938. Cobijaduras tectónicas en el Paleozoico de las Sierras de La Tinta. Notas Mus La Plata, 3, Geol. (5): 35-46.

- SHEN, Y. Y SCHIDLOWSKI, M., 2000. New C isotope stratigraphy from Southwest China: implications for the placement of the Precambrian-Cambrian boundary on the Yangtze Platform and global correlations. *Geology*, 28: 623-626.
- SHEN, Y., ZHANG, T. Y HOFFMAN, P.F., 2008C. On the coevolution of Ediacaran Oceans and oxygen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 7376-7381.
- SINGER, A., 1984. The Paleoclimatic Interpretation of Clay Minerals in Sediments – a Review. *Earth Science Reviews*, 21, 251-293.
- STROTHER, P. K. 1994. Sedimentation of palynomorphs in rocks of pre-Devonian age, in TRAVERSE, A. (ed.), *Sedimentation of organic particles*; Cambridge University Press, Cambridge, p. 489-502.
- STROTHER, P. K. 1996. Acritarchs. In: J. Jansonius & D. C. McGregor (eds.) *Palynology: Principles and Applications. Volume I. Principles*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Chapter 5. p. 81-106.
- SUCHY, V., KOROVA, I SY., MELKA K., FILIP. J. Y MACHOVIC, V., 200. Illite 'crystallinity', maturation of organic matter and microstructural development associated with lowest-grade metamorphism of Neoproterozoic sediments in the Tepla Barrandian unit, Czech Republic. *Clay Minerals*, 42, 503–526.
- STUER, J.R, 2006. Facies Model Revisted: CLastic Shelves. En: *Facies Model Revisted* (Eds. H.W. Posamentier y R.G. Walker). p 339-397. SEPM Special Publication 84, Oklahoma, EE.UU.
- SPALLETTI, L.A 1987. Características y significado sedimentológico de las formas, cuerpos y estructuras originadas por agentes fluidos en sustratos incoherentes. *Revista del Museo de La Plata, Nueva Serie, Geología* 10: 16-69.
- SPALLETTI, L.A. Y DEL VALLE, A., 1984. Las diamictitas del sector oriental de Tandilia: caracteres sedimentológicos y origen. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 39 (3-4): 188-206.
- SPALLETTI, L.A., Y DEL VALLE, A., 1990. Plataformas silicoclásticas. En: G. Bossi (Ed.): *Ambientes y modelos sedimentarios*. *Boletín Sedimentológico*, 4: 161-187.
- SPALLETTI, L.A., 1980. *Paleoambientes Sedimentarios en Secuencias Silicoclásticas*. Asociación Geológica Argentina. Serie "B", Didáctica y Complementaria. Número 8, 175 pp.
- SPALLETTI, L.A., POIRÉ, D.G., ISLA, F., Y ZÁRATE, M., 1996. Litoral atlántico bonaerense y Sistema de Tandilia. 6 Reunión Argentina de Sedimentología, *Guía de Excursión Geológica*, 15 pp., Bahía Blanca.
- SPALLETTI, L.A. Y POIRÉ, D.G., 2000. Secuencias silicoclásticas y carbonáticas del Precámbrico y Paleozoico inferior del Sistema de Tandilia, Argentina. 2 Congreso Latinoamericano de

- Sedimentología y 8 Reunión Argentina de Sedimentología, Guía de Campo, 39 pp., Mar del Plata.
- SUCHY, I. SY´ KOROVA, K. MELKA , J. FILIP AND MACHOVIC, 2007. Illite 'crystallinity', maturation of organic matter and microstructural development associated with lowest-grade metamorphism of Neoproterozoic sediments in the Tepla´ Barrandian unit, Czech Republic.
- TAYLOR, S. R. Y MCLENNAN, S. M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford, pp 1–312.
- TERUGGI, M.E., 1964. Paleocorrientes y paleogeografía de las ortocuarcitas de la Serie de La Tinta (provincia de Buenos Aires). Anales de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, 5: 1-27.
- TERUGGI, M.E., MAURIÑO, V., LIMOUSIN, T. Y SCHAUER, O., 1958. Geología de las sierras de Tandil. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 13 (3): 185-204.
- TERUGGI, M.E., MAURIÑO Y V., LIMOUSIN, T., 1962. Geología de la porción oriental de las sierras de Tandil. 1 Jornadas Geológicas Argentinas, Anales 2: 359-372.
- TERRUGGI, M., KILMURRAY, J., Y DALLA SALDA, L., 1973. Los dominios tectónicos de la región de Tandilia. Anales sociedad Científica Argentina, 295, 1-2: 81-94.
- TERUGGI, M.E. Y KILMURRAY, J.O., 1975. Tandilia. 6 Congreso Geológico Argentino, Relatorio 57-77.
- TERUGGI, M.E., KILMURRAY, J.O., 1980. Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. En: J. Turner (Ed.): Geología Regional Argentina, 2, pp 919-965, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- TIRSGAARD, H., 1996. Cyclic sedimentation of carbonate and siliciclastic deposits on a Late Precambrian ramp: the Elisabeth Bjerg Formation (Eleonore Bay Supergroup), East Greenland. *Journal of Sedimentary Research* 66: 699-712.
- THOMPSON, A.B. (1976) Mineral reactions in pelitic rocks: I. Prediction of P-T-X (Fe-Mg) phase relation. *Am. J. Sci.*, 276, 401 – 424.
- TUCKER, M.E., 1982. Sedimentary Petrology, An Introduction. M.E. Toker Ed., 252 pp. Halster press. U.S.A and Canada.
- TYSON, R.V. 1995. Sedimentary organic matter. Chapman y Hall: 615 p. London.
- VAIL, P.R., AUDEMARD, S.A., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N. & PEREZ-CRUZ, C. 1991. The stratigraphy signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. In: EINSELE et al. (eds.), Cycles and Events in Stratigraphy, p.615 - 659. Springer-Verlag.
- VALENCIO, D.A., VILAS, J.F. Y SINITO, A.M., 1980. Paleomagnetismo y edades radimétricas de algunas formaciones neoprecábricas y eopaleozoicas de la Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35 (3): 421-433.

- VAN STADEN A., NAIDOO T, ZIMMERMANN U, GERMS GJB (2006). Provenance analysis of selected clastic rocks in Neoproterozoic to lower Paleozoic successions in southern Africa from the Gariep Belt and the Kango Inlier, S Afr J Geol 109: 215-232.
- VECOLI, M. AND LE HÉRISSE, A., 2004. Biostratigraphy taxonomic diversity, and patterns of morphological evolution of Ordovician acritarchs (organic-walled microphytoplankton) from the northern Gondwana margin in relation to palaeoclimatic and palaeogeographic changes. *Earth-Science Reviews*, 67:267-311.
- VELASQUEZ, M., SPANGENBERG, J.E., GAUCHER, C. AND BOGGIANI, P.C., 2007. Biogeochemical study of Late Proterozoic-Early Cambrian sediments in the Rio de la Plata Craton 2 insights about biota and environmental changes. V Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo (CD-ROM).
- VELASQUEZ, M., SPANGENBERG, J.E., GAUCHER, C. AND BOGGIANI, P.C., 2008. Isotopic and molecular insights for a stratified water column in a Precambrian-Cambrian marine shelf on the Rio de la Plata Craton. VI South American Symposium on Isotope Geology, Proceedings, San Carlos de Bariloche.
- VIDAL G. MOCZYDLOWSKA – VIDAL M, 1997. Biodiversity speciation and extinction trends of Proterozoic and Cambrian phytoplankton *Paleobiology* 23 (2), 230-246.
- VISSER, J.N.J. Y YOUNG, G.M. 1990. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogenic Dwyka Formation and post-glacial mudrocks in southern Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 81; 49–57.
- WALKER, R.G., 1990. Facies models and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60: 777–786.
- WALKER, R. G., 2006. Facies models revisited. *Facies Models Revisited*, SEPM Special Publication No. 84: 1–17.
- WALL D., 1965 Microplankton, pollen, and spores from the Lower Jurassic in Britain; *Micropaleontology*, 11: 151-190, pl.1-9.
- WILLIAMS, D.B. Y SARJEANT, W.A.S. 1967 Organic-walled microfossils as depth and shoreline indicators; *Marine Geology*, 5: 389-412.
- WILSON, M.D., Y PITTMAN, E.D., 1977. Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47, 1, 3-31.
- WINCHESTER JA, FLOYD PA (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem Geol* 20:325-343.

- WOOD, G.D., GABRIEL A.M AND LAWSON, J.C., 1966. Palynological Techniques processing and Microscopy; in Jansonius, J y McGregor, D.C. (ed.), Palynology: principles and applications; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Vol. 1, p. 29-50.
- XIAO, S AND KAUFMAN A.J., 2006. Neoproterozoic Geobiology and Paleobiology. Springer Chapter 2 On the morphological History of Proterozoic and Cambrian Acritarchs.
- YIN, L. AND LI, Z., 1978. Precambrian microfossils of Southwest China. Memoirs Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, 10: 41-102.
- ZALBA, P.E., 1978. Estudio geológico-mineralógico de los yacimientos de arcillas de la zona de Barker, partido de Juarez, provincia de Buenos Aires y su importancia económica. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Tesis Doctoral 362, 75 pp. (inédito).
- ZALBA, P.E., 1979. Clay deposits of Las Aguilas Formation, Barker, Buenos Aires province, Argentina. Clays and Clay Minerals, 27 (6): 433-439.
- ZALBA, P.E., 1981. Nuevo nivel de arcillitas sobre la caliza en la Cantera Loma Negra, Barker. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 36 (1): 99-102.
- ZALBA, P.E., 1988. Clasificación de arcillas de las Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires. CETMIC, Publicación Especial 1, 62 pp., Buenos Aires.
- ZALBA, P.E. Y ANDREIS, R.R., 2001. Stratigraphy, Sedimentology and Mineralogy of Neoproterozoic clay deposits, Sierras de Tandilia, Province of Buenos Aires, Argentina. Economical Importance. 12 International Clay Conference (AIPEA), Pre-Symposium Field Trip, 79 pp., Bahía Blanca.
- ZALBA, P.E., ANDREIS, R.R. Y IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., 1988. Formación Las Aguilas, Barker, Sierras Septentrionales de la Prov de Buenos Aires, nueva propuesta estratigráfica. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 43 (2): 198-209.
- ZALBA, P.E., ANDREIS, R.R. Y LORENZO, F., 1982. Consideraciones estratigráficas y paleoambientales de la secuencia basal eopaleozoica en Cuchilla de las Aguilas, Barker, Argentina. 5 Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 389-409.
- ZALBA, P.E., POIRÉ, D.G., ANDREIS, R.R. Y IÑIGUEZ RODRIGUEZ, A.M., 1992. Precambrian and Lower Paleozoic records and paleosurfaces of the Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina. En: Schmitt, J.M. y Gall, Q. (Eds.): Mineralogical and Geochemical Records of Paleoweathering. Memoire des Sciences de la Terre, 18: 93-113.
- ZALBA, P.E., VOLZONE, C., GARRIDO, L.B., MOROSI, M. Y PEREIRA, E., 1994. Mineralogical composition and diagenetic processes in the two depositional systems of the Cerro Negro Formation, Buenos Aires, Argentina: industrial application. Revista Geológica de Chile, 21 (2): 303-311.

- ZHOU, C., XIE, G., MCFADDEN, K., XIAO, S. AND YUAN, X., 2007. The diversification and extinction of Doushantuo-Pertatataka acritarchs in South China: causes and biostratigraphic significance. *Geological Journal*, 42: 229-262.
- ZHOU, G., TUCKER, R., XIAO, S., YUAN, X. AND CHEN, Z., 2004B. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciations in south China. *Geology*, 32: 437-440.
- ZIMMERMANN, U Y SPALLETTI LUIS, 2009. Provenance of the lower Paleozoic Balcarce formation (Tandilia System, Buenos Aires province, Argentina): Implications for paleogeographic reconstructions of SW Gondwana.
- ZIMMERMANN, U., POIRÉ, D.G. Y GÓMEZ PERAL, L., 2005. Provenance studies on Neoproterozoic successions of the Tandilia System (Buenos Aires province, Argentina) 16 Congreso Geológico Argentino, Actas (en prensa).
- ZIMMERMANN, U., FRIMMEL, H., GAUCHER, C., GERMS, G., POIRÉ, D.G., BLANCO, G., GÓMEZ PERAL, L. Y VAN STADEN, A., 2003. IGCP 478: Provenance in Neoproterozoic to early Paleozoic Successions of SW Gondwana: the status quo at the beginning of a new initiative. 10 Congreso Geológico Chileno., Actas CD.
- ZIMMERMANN U., POIRÉ, D.G. Y GÓMEZ PERAL, L., 2011. Neoproterozoic to lower palaeozoic successions of the Tandilia System in Argentina: implication for the palaeotectonic framework of southwest Gondwana. *Int. J Earth Sci (Geol Rundsch)* 100, 489-510.